

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
ΑΝΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥΣ

Επιμέλεια :

Χασιώτη Χριστίνα

Επιβλέπων καθηγητης:

Κανέλλος Φώτιος

ΧΑΝΙΑ 2021



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Καταρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους βοήθησαν στην εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας και κυρίως τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κανέλλο Φώτιο καθηγητή του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πολυτεχνείου Κρήτης για την εμπιστοσύνη του στην ανάθεση και την μετέπειτα καθοδήγηση του στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Ακόμη, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου και ιδιαίτερος στους γονείς μου για την συνεχή στήριξη σε όλα τα χρόνια των σπουδών μου στο Πολυτεχνείο Κρήτης.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αποτελεί η ανάπτυξη μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας δύο διαφορετικών ειδών ανελκυστήρων με στόχο την οικονομική αξιολόγηση τους. Μελετάται η λειτουργία ενός μοντέλου ηλεκτροκίνητου και ενός υδραυλικού και συγκρίνονται τα αποτελέσματα τους ως προς την ενέργεια που καταναλώνουν.

Στο πρώτο μέρος, παρουσιάζεται μία συνοπτική εικόνα της ιστορίας και της εξέλιξης του ανελκυστήρα, καθώς και των διαφορετικών κατηγοριών ανελκυστήρα που συναντώνται έως και σήμερα.

Στη συνέχεια, αναλύονται περαιτέρω τα δύο διαφορετικά είδη ηλεκτροκίνητου ανελκυστήρα και του μοντέλου υδραυλικού ανελκυστήρα, ως προς τα κύρια μέρη εγκατάστασης τους και τα πλεονεκτήματά τους.

Στο τέταρτο μέρος, αναπτύσσεται κατάλληλος κώδικας προσομοίωσης της λειτουργίας των δύο μοντέλων ανελκυστήρα σε κτίριο γραφείων. Αναλύονται τα βασικά χαρακτηριστικά υπολογισμού της απαιτούμενης μηχανικής ισχύος που απαιτεί το κάθε μοντέλο ανελκυστήρα σε κάθε ταξίδι μετ' επιστροφής, βάσει μελέτης κυκλοφορίας ενός ανελκυστήρα, καθώς και των παραγόντων που την επηρεάζουν. Τέλος, παρατίθενται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης ως προς την ενέργεια που καταναλώνεται σε ετήσια βάση.

Λαμβάνοντας υπόψιν τα αποτελέσματα του τέταρτου κεφαλαίου, στο τελευταίο κύριο κεφάλαιο μελετήθηκε η εγκατάσταση κατάλληλης μπαταρίας στο δίκτυο για περαιτέρω μείωση του κόστους χρήσης ενός ανελκυστήρα. Για την προσομοίωση της εγκατάστασης, χρησιμοποιήθηκε κατάλληλος αλγόριθμος ελαχιστοποίησης του κόστους και αναπτύχθηκαν πολλαπλά σενάρια σχετικά με την ημέρα, το είδος του ανελκυστήρα που είναι τοποθετημένο στο κτίριο, καθώς και το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας, προκειμένου να αναδειχθεί η αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου σε ευρεία ποικιλία συνθηκών.

Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα, βάσει των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις πολλαπλές προσομοιώσεις. Επίσης, αναλύεται εάν η εγκατάσταση μπαταρίας επιτυγχάνει το στόχο εξοικονόμησης ενέργειας και εάν κρίνεται συμφέρουσα.

Περιεχόμενα

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ - Ιστορική Αναδρομή	5
1.1 Η έννοια του ανελκυστήρα	5
1.2 Ιστορική αναδρομή	5
1.3 Κατηγορίες ανελκυστήρων	9
1.4 Συστημάτα Διαχείρισης Ενέργειας σε κτίρια	11
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ -Ηλεκτροκίνητος Ανελκυστήρας	13
2.1 Ηλεκτροκίνητος ανελκυστήρας	13
2.1.1 Ηλεκτροκίνητος ανελκυστήρας έλξεως με κιβώτιο ταχυτήτων(geared)	13
2.1.2 Ηλεκτροκίνητος ανελκυστήρας έλξεως με inverter και χωρίς κιβώτιο ταχυτήτων(gearless)	14
2.2 Κύρια μέρη εγκατάστασης Ηλεκτροκίνητου ανελκυστήρα	16
2.3 Πλεονεκτήματα	21
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ-Υδραυλικός Ανελκυστήρας	22
3.1 Υδραυλικός ανελκυστήρας	22
3.2 Κύρια μέρη εγκατάστασης υδραυλικού ανελκυστήρα	23
3.3 Πλεονεκτήματα	24
4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ - Ανάπτυξη Μοντέλων Προσομοίωσης	25
4.1 Μελέτη κυκλοφορίας ανελκυστήρα	25
4.1.1 Προφίλ κίνησης ανελκυστήρα	30
4.2 Αρχή λειτουργίας Ηλεκτροκίνητου ανελκυστήρα	31
4.2.1 Μεθοδολογία υπολογισμού απαιτούμενης μηχανικής ισχύος για κάθε διαδρομή	33
4.3 Αρχή λειτουργίας Υδραυλικού ανελκυστήρα	37
4.3.1 Μεθοδολογία υπολογισμού απαιτούμενης μηχανικής ισχύος για κάθε διαδρομή	38
4.4 Ενεργειακή κατανάλωση σε κατάσταση αναμονής	41
4.5 Κατανάλωση ενέργειας σε έναν κύκλο λειτουργίας	43
4.6 Παραδείγματα Μοντέλων	47
4.6.1 Παραδείγματα Μοντέλων Υδραυλικού Ανελκυστήρα	47

4.6.2	Παραδείγματα Μοντέλων Μηχανικού Ανελκυστήρα	53
4.7	Προσεγγιστικός υπολογισμός της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας	60
4.8	Συμπεράσματα	66
5	ΚΕΦΑΛΑΙΟ - Μείωση Κόστους Με Χρήση Μπαταρίας	67
5.1	Διαχείριση ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίου με μπαταρία	67
5.1.1	Μοντελοποίηση στο Matlab	68
5.2	Εφαρμογή σε πραγματικό κτίριο	69
5.2.1	Κτίριο με υδραυλικό ανελκυστήρα	69
5.2.2	Κτίριο με ηλεκτροκίνητο ανελκυστήρα	79
5.3	Συνολικά Αποτελέσματα Προσομοίωσης	89
6	Συμπεράσματα	90
	Αναφορές	91

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ - Ιστορική Αναδρομή

1.1 Η έννοια του ανελκυστήρα

Με βάση τον όρο ανελκυστήρα ή ανυψωτήρα ορίζουμε κάθε εγκατάσταση που χρησιμοποιείται για την ανύψωση βαρών, προσώπων ή πραγμάτων. Στην Ελλάδα, έχει επικρατήσει ο γαλλικός όρος “ascenseur” (ασανσέρ), για την ονομασία του ανελκυστήρα πολώροφων κτιρίων. [1]

1.2 Ιστορική αναδρομή

Κύριο μέλημα των ανθρώπων είναι η εκμηδένιση των προβλημάτων στην καθημερινότητα τους. Το πρόβλημα ανύψωσης βαρέων αντικειμένων και προσώπων επιλύθηκε με την εγκατάσταση ανυψωτικών μέσων και μεταγενέστερα ανελκυστήρα ή ανυψωτήρα.

Από τα αρχαία χρόνια, έχουν εμφανιστεί διάφορα μέσα ανέλκυσης, άλλα επιτυχημένα και άλλα αποτυχημένα. Οι διάφορες τροποποιήσεις που υλοποιήθηκαν, οδήγησαν στο σημερινή γνωστή ιδέα και μορφή του ανελκυστήρα. Παρακάτω, παρατίθεται ιστορικά η εξέλιξη των ανυψωτικών μεσών. Τον 5ο αιώνα πρό Χριστού, στη Μεσοποταμία χρησιμοποιήθηκε βαρούλκο σε συνδυασμό με μεγάλης διαμέτρου τροχαλίας τυμπάνου στην κατασκευή του Πύργου της Βαβέλ. Η χρήση του ανυψωτικού μέσου βοήθησε στην κατασκευή του κτιρίου που “έφθανε τον ουρανό”, σύμφωνα με τη Γένεση, ανυψώνοντας υπέρβαρα οικοδομικά υλικά.



Figure 1: Ο πύργος της Βαβέλ. Πηγή : el.wikipedia.org

Στην Αίγυπτο, περί το 2700 έτος προ Χριστού, κατασκεύαζαν τις πυραμίδες ως τάφους για τους Φαραώ. Οι πυραμίδες, αποτελούνται από εκατομμύρια ογκολίθους μέσου βάρους δυόμιση τόνων ο καθένας. Στην Παλαιά Βασιλεία, κατά τη χρονική περίοδο δεν είχε ανακαλυφθεί ο τροχός, με αποτέλεσμα τη μη ύπαρξη τροχαλιών, για ανύψωση των ογκολίθων. Η ανύψωση και τοποθέτηση φημολογείται πως πραγματοποιήθηκε μέσω κεκλιμένων επιχωματώσεων ανά επίπεδο, ενώ πρόσφατες ανασκαφές κάνουν λόγο για ράμπες με αντίβαρα.



Figure 2: Πυραμίδες της Αιγύπτου. Πηγή :cnn.gr

Στην Αρχαία Ελλάδα σημάδια, όπως λίθοι ναών του 515 πρὸ Χριστού, φανερώνουν χρήση ανυψωτικών μηχανημάτων. Στη συνέχεια, το έτος 236 πρὸ Χριστού, ο μεγάλος Έλληνας Μαθηματικός και Φυσικός Αρχιμήδης, ύστερα από την ιδέα του μοχλού, ανέπτυξε την αρχή του ατέρμονος κοχλία και εφευρίσκει το «Βαρουλικό». Η εφεύρεση αποτελείται από οδοντωτούς τροχούς (γρανάζια) και συμπλεκόμενους ατέρμονες κοχλίες. Χρησιμοποιήθηκε από τον ίδιο, καθώς καθέλκυσε ένα πλοίο της εποχής με τη δύναμη του ενός χεριού του, λέγοντας «δός μοί (φησι) ποῦ στῶ καὶ κινῶ τὴν γῆν». Η φράση μεταφράζεται στα Νέα Ελληνικά ως: «Δώσε μου μέρος να σταθώ (μοχλοβραχίονα) και τότε θα μπορούσα ακόμη και την Γη να κινήσω». Σύμφωνα με τον Ήρων, Έλληνα Μαθηματικό και διευθυντή της Ανωτάτης Τεχνικής Σχολής της Αλεξάνδρειας, για τη μείωση της απαιτούμενης ελκτικής δύναμης ενός φορτίου κατά $1/200$, απαιτείται σχέση οδοντωτών τροχών $1:5:5:5:8/5$ (θεωρητικά ικανής για την επίτευξη αυτού του σκοπού), ενώ η επιπλέον ισχυρή μείωση από τη χρήση του ατέρμονα κοχλία και του χειροστροφάλου είναι απαραίτητη για την υπερνίκηση των αυξημένων τριβών. Αξίζει να αναφερθεί, ότι η εφεύρεση του Αρχιμήδη αποτελεί έως σήμερα βασική αρχή πολλαπλών ανυψωτικών μεθόδων.



Figure 3: Βαρουλικό. Πηγή : el.wikipedia.org

Το 1203 μετά Χριστόν, εγκαταστάθηκε στη μονή “Saint Michel” της Γαλλίας ανελκυστήρας, ο οποίος λειτουργεί έως σήμερα. Ο ανελκυστήρας αποτελούταν από ένα μεγάλης διαμέτρου τύμπανο, το οποίο περιστρεφόταν μέσω ζωικής δύναμης. Γύρω από το τύμπανο υπήρχε σχοινί, το οποίο ανύψωνε τα αγαθά. Παρόμοιοι μηχανισμοί εμφανίζονται σε πολλαπλά μοναστήρια κατά το Μεσαίωνα.

Ο Leonardo Da Vinci περί το 1500 μετά Χριστόν, ο οποίος ως μελετητής του Αρχιμήδη, του Ήρωνα καθώς και του Ευκλείδη, ανέπτυξε τη δική του θεωρία κάθετης κίνησης φορτίων για ανυψωτικές μηχανές με σπειρωτό περικόχλιο. Εώς τον 16ο αιώνα και τη λήξη της περιόδου της Αναγέννησης υπήρξαν πολλαπλές μελέτες από ερευνητές για συνδυασμό της υδραυλικής και της πνευματικής ενέργειας με τη χρήση ανυψωτικών μεσών, δίχως αποτέλεσμα λόγω της ύφεσης που ακολούθησε.

Τον 18ο και τον 19ο αιώνα, οι τεχνικές ανύψωσης φορτίων και ατόμων γνώρισαν άνθιση. Το 1853 ο Elisha Otis, Αμερικάνος Μηχανικός διαφώνισε το σύστημα ασφαλείας που είχε δημιουργήσει, κόβοντας τα σχοινιά του ανελκυστήρα. Η πλατφόρμα άρχισε να πέφτει και ξαφνικά σταμάτησε ακαριαία στους οδηγούς. Το σύστημα που δημιούργησε ονομάστηκε “Σύστημα Αρπαγής” και ο κόσμος πείστηκε για την ασφάλεια και την αξιοπιστία της εγκατάστασης ανελκυστήρα σε κτίρια. Το έτος 1857 τέθηκε σε λειτουργία ο πρώτος επιβατικός ανελκυστήρας στο εμπορικό κατάστημα “Haughwout” στην Αμερική. Ο ανελκυστήρας κινούνταν με χρήση ατμομηχανής και ως καύσιμο το κάρβουνο. Στη συνέχεια, στη Νέα Υόρκη το 1870 λειτούργησαν οι πρώτοι δύο υδραυλικοί ανελκυστήρες και το 1889 ο πρώτος ηλεκτρικός, κατασκευής του Ner Von Siemens στο κτίριο “Demarest”. Το 1903, εγκαταστάθηκε πρώτη φορά ανελκυστήρας με τροχαλία τριβής χωρίς τύμπανο και αντίβαρο, όπως κατά προσέγγιση είναι έως τώρα.

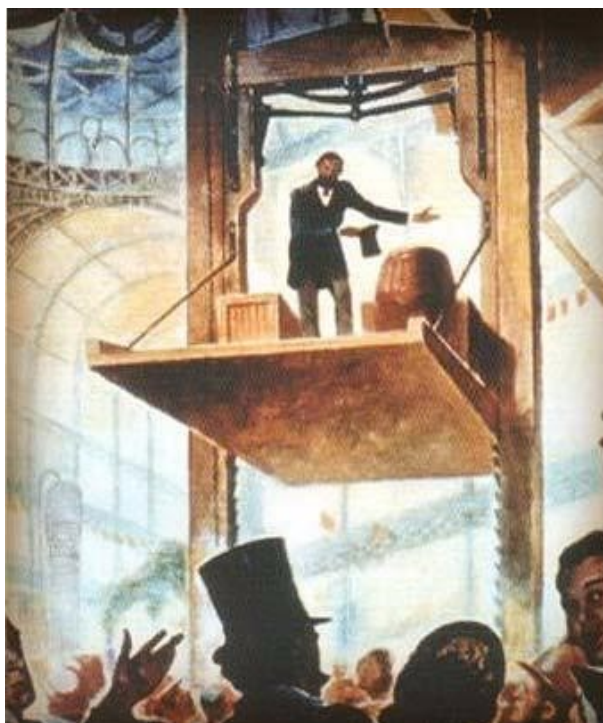


Figure 4: Παρουσίαση Elisha Otis. Πηγή: kondylopoulos.gr

Στις αρχές του 21ου αιώνα οι βασικές αρχές των ανελκυστήρων δε διαφέρουν από αυτές των Βικτοριανών Χρόνων, όμως έχουν γίνει κατάλληλες τροποποιήσεις εξέλιξης τους για να αντεπεξέλθουν στις αυξανόμενες ανάγκες του κοινού. Πέρα του εκσυγχρονισμού τους, όσο αφορά την άνεση και την αισθητική, πλέον οι ανελκυστήρες εκτός της αυξημένης ταχύτητας τους, εφοδιάζονται με αυτοματισμούς (Προγραμματιζόμενους Λογικούς Ελεγκτές- PLC) , οι οποίοι παρέχουν μέγιστη εποπτεία σε θέματα ασφαλείας. Συγκεκριμένα, δύναται να προστεθεί ένδειξη συντήρησης ύστερα από συγκεκριμένη χρήση, ή περίπτωση βλάβης, λειτουργία απεγκλωβισμού με μετάβαση στην πλησιέστερη έξοδο ύστερα από πτώση τάσης, πυρανίχνευση κ.α. Επιπροσθέτως, δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην εξοικονόμηση ενέργειας για την προστασία του περιβάλλοντος, ιδιαίτερα σε χώρες όπως η Ελλάδα που βασίζεται κυρίως σε ρυπογόνα καύσιμα για την παραγωγή της, όπως ο λιγνίτης. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί η αλματώδης καθημερινή εξέλιξη των υλικών μερών των ανελκυστήρων, με αποτέλεσμα την αύξηση της διάρκειας ζωής τους.



Figure 5: Ανελκυστήρες Empire State Building. Πηγή: newatlas.com

1.3 Κατηγορίες ανελκυστήρων

Η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας και επακόλουθα των ανελκυστήρων, επιτρέπει σήμερα την επιλογή ανάμεσα σε πληθώρα τύπων ανελκυστήρων για κάλυψη οποιασδήποτε ανάγκης. Κατά τον τρόπο λειτουργίας τους διακρίνονται σε Ηλεκτροκίνητους (Μηχανικούς) και Υδραυλικούς, ενώ κατά κάλυψη αναγκών σε Επιβατηγούς για μεταφορά προσώπων και Φορτηγούς για μεταφορά φορτίων.

Ένας επιβατηγός ανελκυστήρας πρέπει να ανταποκρίνεται στις κτιριακές απαιτήσεις κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Κύρια χαρακτηριστικά των επιβατηγών ανελκυστήρων είναι η ταχύτητα λειτουργίας, η άνεση και η καλαισθητή εμφάνιση τους, χωρίς να περιορίζεται η ασφάλεια και η λειτουργία τους υπο συνθήκες πολλαπλών χρήσεων, όπως η συγκέντρωση και αποχώρηση προσωπικού από το κτίριο κατά τις ώρες αιχμής. Επιπροσθέτως, ένας τύπος επιβατηγού ανελκυστήρα, είναι ο ανελκυστήρας AMEA. Η εγκατάσταση του συναντάται σε χώρους που εκ μελέτης δεν συμπεριλήφθηκε ράμπα ή ανελκυστήρας και διαχωρίζονται σε συστήματα ανύψωσης για σκαλιά και για αμαξίδια.

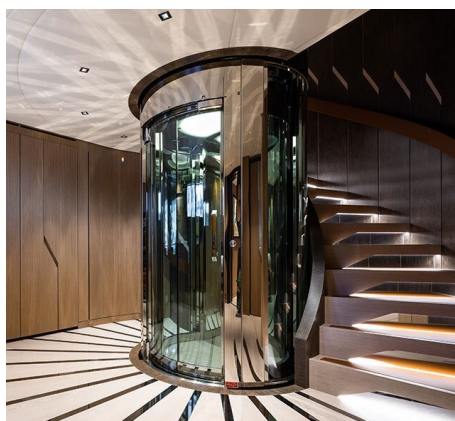


Figure 6: Ανελκυστήρας προσώπων. Πηγη: indiamart.com

Αντιθέτως, οι φορτηγοί ανελκυστήρες χαρακτηρίζονται από ογκώδεις κατασκευές, όπου η στιβαρότητα και η λειτουργία τους υπο συνθήκες πίεσης είναι κύριο μέλημα κατά τη σχεδίαση, σε σύγκριση με την καλαισθησία των επιβατηγών. Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται και οι ανελκυστήρες τροφίμων, οι οποίοι έχουν μικρή ανυψωτική ικανότητα έως 100kg. Τοποθετούνται σε χώρους όπου η σύνδεση κουζίνας και υπογείου είναι απαραίτητη, όπως εστιατόρια, ξενοδοχεία, πλοία κ.α.



(a) Ανελκυστήρας τροφίμων. Πηγή: india-mart.com



(b) Ανελκυστήρας φορτίων. Πηγή: xasio-tis.com

Figure 7: Ανελκυστήρες φορτίων.

Μία ακόμη μέθοδος διάκρισης, είναι με γνώμονα τη δυνατότητα ρύθμισης της ταχύτητας τους, χωρίζοντας τους ανελκυστήρες σε τρεις κατηγορίες. Πρώτα, ανελκυστήρες μίας ταχύτητας, όπου ο κινητήρας λειτουργεί με μία ταχύτητα και συναντάται σε μικρές πολυκατοικίες. Στη συνέχεια ανελκυστήρες δύο ταχυτήτων (μικρή και μεγάλη), για χρήση σε κτίρια μεγάλης χρήσης ανελκυστήρα και τέλος οι ανελκυστήρες συνεχώς μεταβαλλόμενης ταχύτητας (VVVF), που αποτελούν τη συνηθισμένη λύση στις κατοικίες σήμερα.

Η ταχύτητα κίνησης του θαλαμίσκου αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό των ανελκυστήρων. Οι ανελκυστήρες μικρής ταχύτητας με ταχύτητα έως 0,4 m/sec, οι ανελκυστήρες μέσης ταχύτητας με ταχύτητες από 0,41 έως 1.20 m/sec και τους ανελκυστήρες υψηλής ταχύτητας με ταχύτητες άνω των 1.21 m/sec.

1.4 Συστημάτα Διαχείρισης Ενέργειας σε κτίρια

Τα περισσότερα από τα κτίρια που υπάρχουν σήμερα διαθέτουν κάποιο είδος συστήματος διαχείρισης ενέργειας, γνωστό ως σύστημα αυτοματισμού κτιρίων (BAS). Η συγκεκριμένη ιδέα του BMS (Building Management System) παρουσιάστηκε για πρώτη φορά πριν από χρόνια, και είχε ως κύριο στόχο να δώσει στους διαχειριστές εγκαταστάσεων ένα κεντρικό σύστημα μέσω του οποίου θα μπορούσαν να παρακολουθούν και να ελέγχουν όλες τις λειτουργίες του κτιρίου, από το φωτισμό έως τα συστήματα ασφαλείας και τους ανελκυστήρες. Το BMS καθιστά επίσης δυνατή την αυτοματοποίηση των λειτουργιών σε κάποιο βαθμό, όπως τα φώτα προγραμματισμού ή τα συστήματα θέρμανσης για ενεργοποίηση και απενεργοποίηση σε συγκεκριμένες ώρες. Συνολικά, η χρήση ενός BMS είναι πιθανό να αποφέρει μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας σε σύγκριση με τη μη χρήση απλώς και μόνο επειδή παρέχει την εύκολη πρόσβαση και τον έλεγχο που απαιτούνται για τη λειτουργία με αποδοτικότερο κόστος.

Πολλά υπάρχοντα κτίρια εξακολουθούν να βασίζονται αποκλειστικά στο BMS ως εργαλείο διαχείρισης ενέργειας. Ωστόσο, ενώ το BMS εξακολουθεί να είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για τον έλεγχο των οικοδομικών περιβαλλόντων, έχει περιορισμένες δυνατότητες και δεν μπορεί να προσφέρει μεγάλη αξία πέρα από τον απλό προγραμματισμό και τον αυτοματισμό.

Αμέσως μετά την εισαγωγή του BMS, ανακαλύφθηκε μια άλλη σημαντική εφαρμογή για εμπορικά κτίρια όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση τα οποία ονομάζονται συστήματα διαχείρισης ενέργειας κτιρίου (BEMS).

Αν και το BEMS μοιάζει πολύ με το BMS, το BEMS είναι ένα ελαφρώς πιο εξελιγμένο σύστημα διαχείρισης ενέργειας για εμπορικά κτίρια. Το BMS παρέχει τη δυνατότητα παρακολούθησης όλων των συστημάτων και κεντρικού ελέγχου τους. Το BEMS παρέχει παρακολούθηση και πληροφορίες που εστιάζονται ειδικά σε συστήματα που αφορούν τη χρήση ενέργειας και τη ζήτηση που οι διαχειριστές εγκαταστάσεων μπορούν στη συνέχεια να ενεργήσουν για να δημιουργήσουν εξοικονόμηση.

Για παράδειγμα, εάν ένα βοηθητικό πρόγραμμα καλεί ένα συμβάν απόκρισης ζήτησης, ένα BEMS μπορεί να λάβει αυτό το εξωτερικό σήμα από το βοηθητικό πρόγραμμα και να στείλει οδηγίες ελέγχου σε συστήματα δόμησης σε απόκριση. Για να μειωθεί το συνολικό φορτίο, το BEMS μπορεί να κατευθύνει τα φώτα να μειώνουν σε ορισμένες περιοχές, να αυξάνουν το σημείο ρύθμισης της θερμοκρασίας ή / και να αλλάζουν από την παραγωγή βοηθητικών προγραμμάτων σε σύστημα αποθήκευσης μπαταριών. Το BEMS είναι επίσης ικανό να παρακολουθεί, να συγκεντρώνει και να επεξεργάζεται δεδομένα σε βασικό επίπεδο για να ενημερώνει τις λογικές ελεγχόμενες απαντήσεις. Ωστόσο, ενώ το BEMS είναι χρήσιμο, σπάνια οι άνθρωποι τα χρησιμοποιούν με τέτοιο τρόπο που θα ήταν χρήσιμο για την πρόβλεψη και τη βελτιστοποίηση της μελλοντικής απόδοσης κτιρίων.

Η πιο εξελιγμένη λειτουργικότητα του BEMS το καθιστά καλύτερη επιλογή για νέες κατασκευές από ότι το BMS. [11]

Όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας ενός ανελκυστήρα μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας αποδοτικότερους κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος και κινητήρων αναγέννησης. Οι περισσότεροι διαχειριστές εγκαταστάσεων κοιτάζουν πρώτα τα συστήματα φωτισμού, θέρμανσης και ψύξης όταν αναζητούν ευκαιρίες για μείωση της χρήσης ενέργειας στα κτίριά τους. Αυτή είναι μια κατανοητή προσέγγιση, καθώς αυτά τα συστήματα αντιπροσωπεύουν μαζί περισσότερο από το ήμισυ της ενέργειας που χρησιμοποιείται από εμπορικά κτίρια, σύμφωνα με το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ.

Οι ανελκυστήρες συνήθως αντιπροσωπεύουν ένα πολύ μικρότερο κλάσμα της ενεργειακής χρήσης κτιρίων αλλά εξακολουθεί να αυξάνεται. Το DOE αναφέρει ότι τα εμπορικά κτίρια κατανάλωσαν 17,9 μετρα δισεκατομμύρια βρετανικές θερμικές μονάδες (Btus) πρωτογενούς ενέργειας το 2009. Η εξοικονόμηση μόνο ενός μικρού ποσοστού αυτού του αριθμού θα μπορούσε να εξοικονομήσει τεράστια ποσότητα ενέργειας. Μια ποικιλία μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας μπορεί να μειώσει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας των ανελκυστήρων - σε ορισμένες περιπτώσεις, έως και το ήμισυ. [12]

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ -Ηλεκτροκίνητος Ανελκυστήρας

2.1 Ηλεκτροκίνητος ανελκυστήρας

Οι ηλεκτροκίνητοι ανελκυστήρες έλξεως ή μηχανικοί αποτελούν την πρώτη επιλογή εγκατάστασης τις τελευταίες δεκαετίες. Σε έναν ηλεκτροκίνητο ανελκυστήρα, η απαιτούμενη ισχύς για την ανύψωση του θαλάμου και του φορτίου ή των ατόμων, παρέχεται εκτός της βαρύτητας με ηλεκτρική ενέργεια από έναν κινητήρα. Η κίνηση μεταφέρεται από τον ηλεκτροκινητήρα σε ένα τύμπανο ή μία τροχαλία (τροχαλία τριβής) και μέσω των συρματοσχοίνων στον θάλαμο. Ο θάλαμος αναρτάται από μία πλευρά της τροχαλίας και το αντίβαρο από την αντίθετη. Ο θάλαμος και το αντίβαρο βρίσκονται σε σταθερή κατακόρυφη τροχιά μεταξύ των οδηγών. Η εντολή κίνησης δίνεται από τον ηλεκτρονικό πίνακα-εγκέφαλο του ανελκυστήρα στον ηλεκτροκινητήρα. Οι δύο βασικοί τύποι ηλεκτροκίνητου ανελκυστήρα, είναι ο ανελκυστήρας τυμπάνου και ο ανελκυστήρας έλξεως με τροχαλία τριβής και αντίβαρο, ο οποίος είναι και ο επικρατέστερος.

2.1.1 Ηλεκτροκίνητος ανελκυστήρας έλξεως με κιβώτιο ταχυτήτων(geared)

Πρόκειται για ηλεκτροκίνητους ανελκυστήρες με κιβώτιο ταχυτήτων (μειωτήρας) προσαρτημένο στον ηλεκτρικό κινητήρα που περιστρέφει την τροχαλία ανύψωσης και κινεί τα συρματόσχοινα. Τροφοδοτούνται, είτε από συνεχές ρεύμα (DC), είτε από εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) και η μέγιστη ταχύτητα τους είναι έως 2.5 m/sec και το μέγιστο ύψος εγκατάστασης τα 75 m. [2]

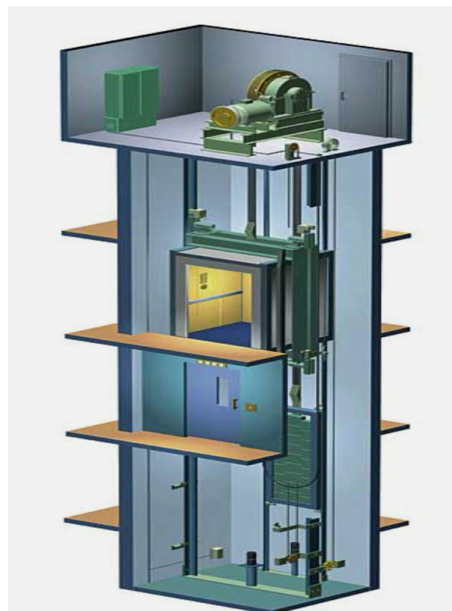


Figure 8: Ηλεκτροκίνητος ανελκυστήρας με κιβώτιο ταχυτήτων. Πηγή: eleco.gr

2.1.2 Ηλεκτροκίνητος ανελκυστήρας έλξεως με inverter και χωρίς κιβώτιο ταχυτήτων (gearless)

Τα συστήματα μηχανικών ανελκυστήρων που δεν περιέχουν κιβώτιο ταχυτήτων (μειωτήρα) και η τροχαλία οδηγείται απευθείας από τον κινητήρα μέσω του Inverter ονομάζονται Gearless. Η συσκευή που επιτρέπει τον έλεγχο στροφών ονομάζεται VVVF (Variable Voltage Variable Frequency μτφρ. Μεταβλητής Τάσης Μεταβλητής Συχνότητας). Η προσαρμογή της τάσης και του ρεύματος σε συνδυασμό με τη συχνότητα επιτρέπουν τον έλεγχο της ταχύτητας κίνησης. Παρουσιάστηκαν πρώτη φορά από την εταιρεία Otis το 1914 στο κτίριο Woolworth της Νεας Υόρκης. Εώς σήμερα αποτελούν την πρώτη προτίμηση για εγκατάσταση σύγχρονου συστήματος ανέλκυσης. Ο κινητήρας και η τροχαλία περιστρέφονται μαζί με την ίδια ταχύτητα και έτσι η ταχύτητα του θαλάμου εξαρτάται και από τη διάμετρο της τροχαλίας εκτός των πόλων του κινητήρα. Τα συγκεκριμένα συστήματα επιτυγχάνουν αυξημένες ταχύτητες της τάξης των 2,5 m/sec έως και 10 m/sec και για αυτό αποτελούν την καλύτερη λύση για υψηλά κτίρια και ουρανοξύστες. Με την πάροδο των ετών έγιναν τροποποιήσεις και χρησιμοποιούνται και σε κτίρια μέσου ύψους, όπου απαιτούνται χαμηλότερες ταχύτητες.

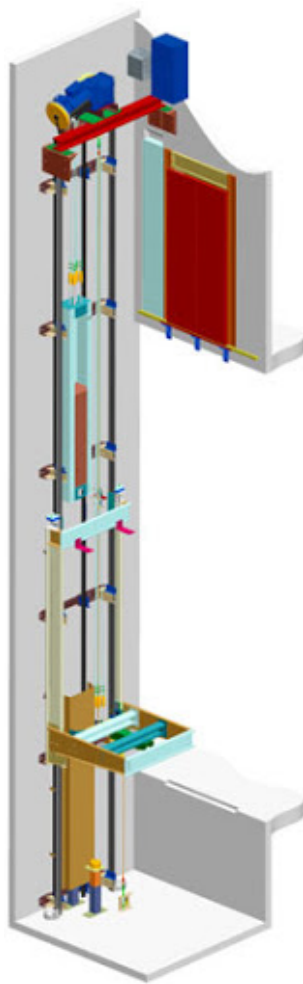
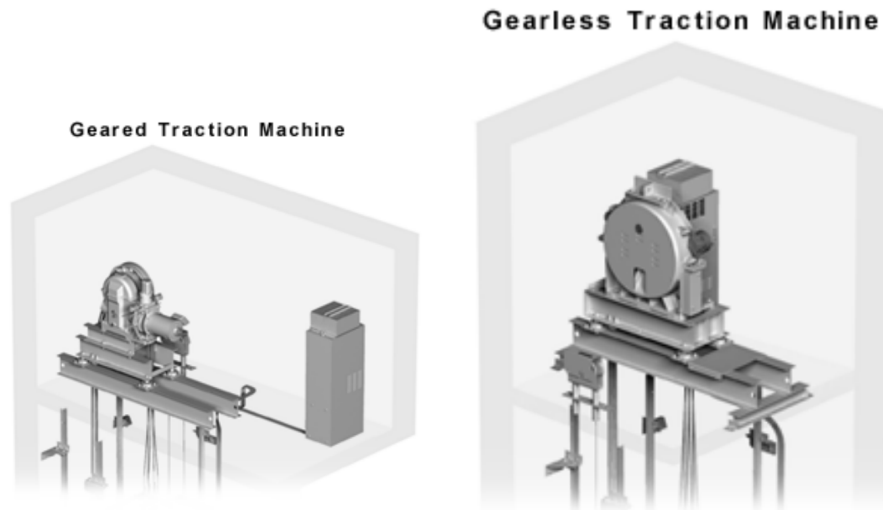


Figure 9: Ηλεκτροκίνητος ανελκυστήρας χωρίς κιβώτιο ταχυτήτων. Πηγή: olympicelevator.gr

Επιπροσθέτως, η εξέλιξη που ενίσχυσε την τάση εγκατάστασης ηλεκτροκίνητων ανελκυστήρων έλξης με inverter, είναι ο συνδυασμός του συστήματος με κινητήρες μόνιμου μαγνήτη (PMSM). Οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη επέτρεψαν τη δραστική μείωση του μεγέθους και του σχήματος του συστήματος με αποτέλεσμα την πιθανή τοποθέτησή τους απευθείας στο φρεάτιο χωρίς την ύπαρξη μηχανοστασίου(MRL), όπου μηχανή και πίνακας τοποθετούνται εντός του φρεατίου.



(a) Κινητήρας ανελκυστήρα με κιβώτιο ταχυτήτων. (b) Κινητήρας ανελκυστήρα χωρίς κιβώτιο ταχυτήτων.

Figure 10: Βασικά είδη κινητήρων. Πηγή : Mitsubishi

2.2 Κύρια μέρη εγκατάστασης Ηλεκτροκίνητου ανελκυστήρα

- Φρεάτιο

Το φρεάτιο είναι ο χώρος στον οποίο κινείται ο θαλαμίσκος και το αντίβαρο. Κατασκευάζεται από πυράντοχο υλικό συνήθως μπετόν ή χαλύβδινο πλέγμα. Για την ασφάλεια των συντηρητών του ανελκυστήρα, το φρεάτιο πρέπει να αφήνει κενό περίπου 1.4m στο ύψιστο ή ελάχιστο ύψος του θαλαμίσκου.

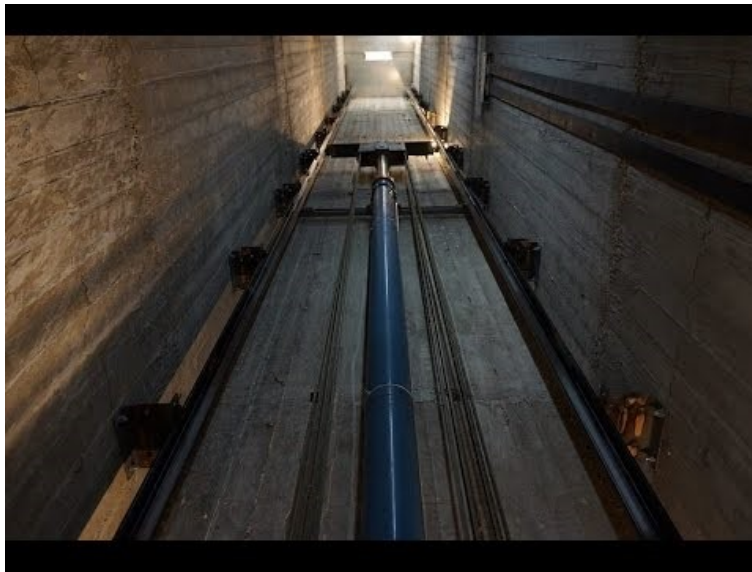


Figure 11: Φρεάτιο. Πηγή : kleemannlifts.com

- Θάλαμος

Ο θάλαμος είναι ο οριοθετημένος μεταλλικός χώρος στον οποίο τοποθετούνται τα φορτία ή επιβιβάζονται τα άτομα. Ολισθαίνει επάνω στους οδηγούς (ευθυντήριες ράβδους) και αποτελείται από την καμπίνα και το πλαίσιο ανάρτησης. Στους επιβατηγούς ανελκυστήρες, ο θάλαμος αποτελείται από άφλεκτα αδιάτρητα τοιχώματα, με ειδικά ανοίγματα αερισμού και της θυρίδας έκτακτης ανάγκης. Η καμπίνα εσωτερικά επενδύεται με διάφορα υλικά, όπως αλουμίνιο, ξύλο και γυαλί για λόγους αισθητικής. Στην οροφή της καμπίνας τοποθετούνται φωτιστικά σώματα με πρόβελψη για αυτόματη ενεργοποίηση σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.



Figure 12: Θάλαμος. Πηγή : kleemannlifts.com

- Πλαίσιο Ανάρτησης

Πρόκειται για μεταλλική κατασκευή, όπου επάνω στηρίζεται ο θάλαμος και η ανάρτηση των συρματόσχοινων . Περιλαμβάνει συστήματα ασφαλείας, όπως τη συσκευή αρπαγής και τα στοιχεία οδήγησης και χειρισμών του θαλάμου.



Figure 13: Πλαίσιο Ανάρτησης. Πηγή : stalec.gr

- Θύρες

Σκοπός των θυρών είναι η προστασία των επιβατών από πιθανό κίνδυνο της επαφής τους με τα τοιχώματα του φρεατίου. Οι πόρτες χωρίζονται σε χειροκίνητες, ημιαυτόματες και αυτόματες. Οι χειροκίνητες πόρτες ανοίγουν και κλείνουν με ώθηση μόνο όταν ο θάλαμος βρίσκεται πίσω από αυτές. Οι ημιαυτόματες πόρτες κλείνουν μόνες τους και ανοίγουν με ώθηση. Σε αυτή την περίπτωση ο θάλαμος δεν απαιτεί δικές του πόρτες. Τέλος οι αυτόματες πόρτες ανοίγουν και κλείνουν μόνες τους χωρίς παρέμβαση με χρήση αισθητήρων. Επιπροσθέτως, κατηγοριοποιούνται σε απλού ανοίγματος (1 φύλλο) διπλού ανοίγματος (2 φύλλα).



Figure 14: Θύρες. Πηγή : thilyzas.gr

- Ευθυντήριοι Ράβδοι- Οδηγοί

Οι οδηγοί είναι χαλύβδινοι δοκοί διατομής σχήματος "T" και καθοδηγούν το πλαίσιο του θαλάμου και του αντιβάρου. Στερεώνονται είτε στο δάπεδο, είτε στην οροφή του φρεατίου και αναγκάζουν την κατακόρυφη κίνηση μέσω της ολίσθησης.



Figure 15: Ευθυντήριοι Ράβδοι- Οδηγοί . Πηγή : technol.gr

- Αντίβαρο

Το αντίβαρο ενός ηλεκτροκίνητου ανελκυστήρα ολισθαίνει όπως ο θάλαμος στους οδηγούς και αποτελείται από δύο μέρη. Το πρώτο μέρος, είναι το πλαίσιο και το άλλο τα βάρη. Η χρήση αντιβάρου αντισταθμίζει ένα μέρος του θαλάμου και εξασφαλίζει την τριβή των συματόσχοινων πάνω στην κινητήρια τροχαλία κατά την έλξη του θαλάμου. Το βάρος του αντιβάρου, πρέπει να είναι ίσο προς το βάρος του θαλαμίσκου προστιθέμενο κατά το ήμισυ του ωφέλιμου φορτίου.



Figure 16: Αντίβαρο . Πηγή : bibikaselevators.gr

- Κινητήρας

Για την κίνηση χρησιμοποιούνται ηλεκτροκινητήρες που μεταδίδουν την κίνηση, είτε με μειωτήρα, είτε με inverter στις τροχαλίες τριβής. Η εκκίνηση πραγματοποιείται με τη βοήθεια ηλεκτρομαγνητών με αποτέλεσμα την ομαλή λειτουργία.



Figure 17: Κινητήρας . Πηγή : gr.kisa-motor.com

- Τροχαλίες Τριβής

Η τροχαλία τριβής αποτελείται από χυτοσίδηρο με εγκοπές (αυλάκια) υποδοχής των συρματόσχοινων, ειδικά επεξεργασμένες για τη σωστή ολίσθησή τους και την αποφυγή φθοράς τους.



Figure 18: Τροχαλίες Τριβής . Πηγή : gerontidiselevators.gr

- Συρματόσχοινα

Τα συρματόσχοινα ανύψωσης, χρησιμοποιούνται στην ανάρτηση του θαλάμου και του αντιβάρου. Εισέρχονται στις αυλακώσεις της τροχαλίας και μέσω της τριβής και του κινητήρα πραγματοποιείται η ανύψωση του θαλάμου.

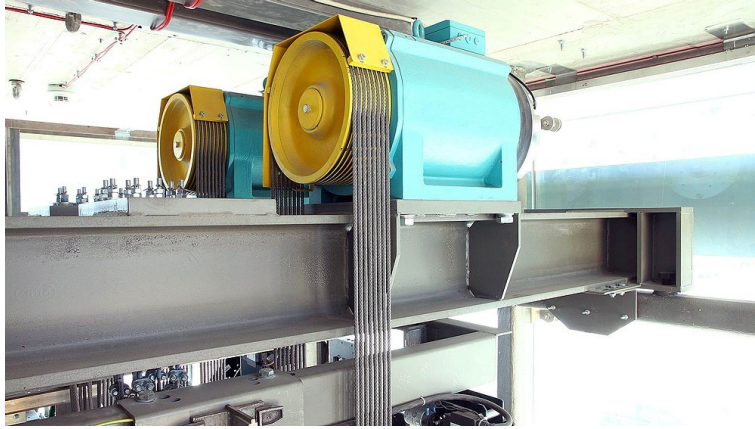


Figure 19: Συρματόσχοινα . Πηγή : pinterest.com

2.3 Πλεονεκτήματα

Οι μηχανικοί ανελκυστήρες παρέχουν πολλαπλά οφέλη, για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιούνται ευρέως τις τελευταίες δεκαετίες. Αρχικά, προσφέρουν μεγάλη διάρκεια ζωής, ενώ παράλληλα έχουν χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης, λόγω περιορισμένων φθορών. Στη συνέχεια επιτυγχάνουν πολύ υψηλές ταχύτητες και μπορούν να τοποθετηθούν σε μεγάλες διαδρομές, με μικρή κατανάλωση ισχύος. Τέλος, οι ηλεκτροκίνητοι ανελκυστήρες χωρίς μειωτήρα επιτρέπουν την κίνηση της τροχαλίας με ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας και μπορούν να εφαρμοστούν διατάξεις που θα αυξήσουν την ενεργειακή απόδοση σε ποσοστό έως 50%.

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ-Υδραυλικός Ανελκυστήρας

3.1 Υδραυλικός ανελκυστήρας

Ο υδραυλικός ανελκυστήρας συναντάται για πρώτη φορά τον 18ο αιώνα μετά Χριστόν στην Αγγλία. Αντίθετα με τον ηλεκτροκίνητο η ενέργεια που χρησιμοποιείται δεν είναι ηλεκτρική, αλλά από μία αντλία, η οποία μεταβιβάζει υδραυλικό υγρό (λάδι). Στη συνέχεια, μέσω ενός εύκαμπτου σωλήνα το υδραυλικό υγρό μεταφέρεται σε ένα έμβολο, αναγκάζοντας το να κινείται. Επάνω στο έμβολο, βρίσκεται ο θάλαμος με την καμπίνα, η οποία ανεβοκατεβαίνει. [4]

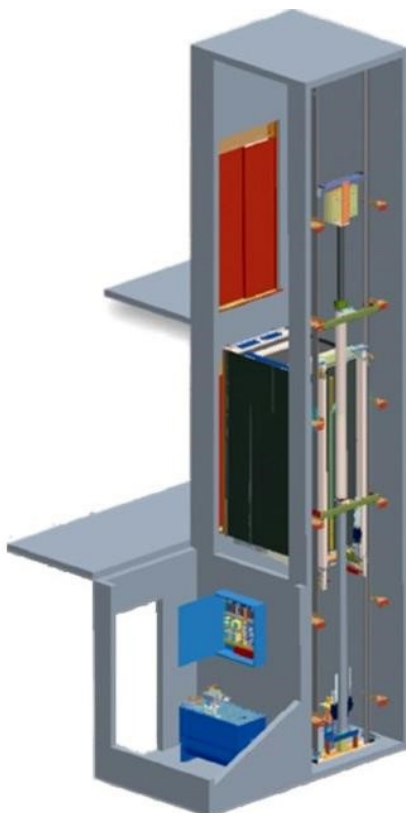


Figure 20: Υδραυλικός ανελκυστήρας. Πηγή : mariatoselevators.gr

Για λόγους ασφαλείας, δεν τοποθετείται μεγάλη αντλία λαδιού για την αποφυγή κινδύνου υπερθέρμανσης του υδραυλικού υγρού. Για αυτόν τον λόγο, καθώς και το υπερβολικό κόστος αναβάθμισης του ανελκυστήρα, η ταχύτητα περιορίζεται σε μικρές ταχύτητες περί 0,6 m/sec. Η εγκατάσταση του υδραυλικού ανελκυστήρα συναντάται κυρίως σε πολυκατοικίες έως 8 ορόφους και χώρους με αυξημένη κίνηση, όπως γραφεία έως 6 ορόφους. Επιπροσθέτως, προτείνεται για εγκατάσταση σε κτίρια με περιορισμένο χώρο φρεατίου, διότι δεν απαιτείται μηχανοστάσιο ή τροχαλιοστάσιο πάνω από το φρεάτιο, εφόσον η σύνδεση ανελκυστήρα και μηχανοστασίου γίνει μέσω ηλεκτρικών καλωδίων και ενός εύκαμπτου σωλήνα.

3.2 Κύρια μέρη εγκατάστασης υδραυλικού ανελκυστήρα

Τα περισσότερα κύρια μέρη, που απαιτούνται για την εγκατάσταση ενός υδραυλικού ανελκυστήρα παραμένουν κοινά με την εγκατάσταση ενός ηλεκτροκίνητου ανελκυστήρα (όπως εμφανίζονται στο Υποκεφάλαιο 2.2). Η βασική διαφορά, είναι η απουσία της τροχαλίας τριβής καθώς και ο τρόπος με τον οποίο ο κινητήρας αποκτά την ενέργεια.

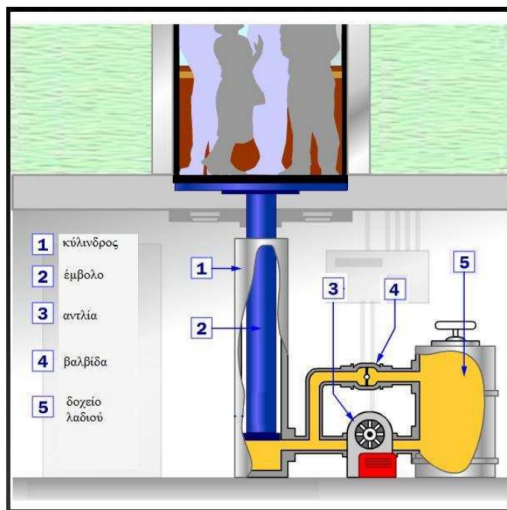


Figure 21: Βασικά μέρη εγκατάστασης υδραυλικού ανελκυστήρα. Πηγή : mariatoselevators.gr

Το πιο σημαντικό στοιχείο στην εγκατάσταση αποτελεί το έμβολο, το οποίο κατασκευάζεται είτε συμπαγές σαν άξονας, είτε από χαλυβδοσωλήνα χωρίς ραφή, με ενισχυμένο τοίχωμα για ικανοποιητική αντοχή στις διάφορες καταπονήσεις και το λάδι. Το έμβολο περικλύεται από τον κύλινδρο, ο οποίος και αυτός κατασκευάζεται από χαλυβδοσωλήνα χωρίς ραφή, κατάλληλου πάχους ώστε να υπερκαλύπτονται οι ανάγκες για αντοχή σε πίεση και τις λοιπές συνθήκες λειτουργίας. Η στεγανότητα του κυλίνδρου επιτυγχάνεται με δύο ελαστικούς δακτυλίους. Ο ένας, ονομάζεται τσιμούχα και αποτρέπει την διέλευση λαδιού από αυτόν προς τα έξω, ενώ ο άλλος δακτύλιος ονομάζεται ξύστρα, με τον οποίο εμποδίζεται η είσοδος ξένων σωματιδίων στον κύλινδρο κατά την κάθοδο του εμβόλου. Τέλος, ανάμεσα στο έμβολο και στον κύλινδρο υπάρχει ένα διάκενο για την ελεύθερη ροή του υδραυλικού λαδιού. Στο σημείο τροφοδοσίας του κυλίνδρου, που είναι ταυτόχρονα και η είσοδος και έξοδος του λαδιού, είναι τοποθετημένη ειδική βαλβίδα ασφαλείας, υδραυλική αρπάγη, η οποία ενεργοποιείται στην περίπτωση διαρροής στον σωλήνα τροφοδοσίας ή και θραύσης αυτού και εφόσον η ταχύτητα του θαλάμου υπερβεί κατά 0,3m/s την ονομαστική ταχύτητα.

Η ανύψωση του εμβόλου γίνεται με υδραυλικό λάδι που παρέχεται από την αντλία. Συνήθως η αντλία είναι κοχλιωτή, χαμηλών παλμών και θορύβου, δουλεύει μέσα σε λάδι και συνδέεται σταθερά στον κινητήρα με φλάντζα, ενώ η κίνηση μεταδίδεται σε αυτήν με την σύνδεση των αξόνων τους μέσω σφηνών. Η επιλογή της αντλίας γίνεται σε συνδυασμό με την επιλογή του κατάλληλου εμβόλου έτσι ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή ταχύτητα.

Το δοχείο λαδιού, το οποίο είναι συγκολλητό, κατασκευασμένο από χαλύβδινη λαμαρίνα με ενισχυμένες αναδιπλώσεις. Στο κάτω μέρος του δοχείου βρίσκεται κρουινός εκκένωσης, μέσω του οποίου κατά την διάρκεια της συντηρήσεως δίνεται η δυνατότητα για εκκένωση από το λάδι και ταυτόχρονα απομάκρυνση υγρασίας που τυχόν βρίσκεται στο δοχείο. Στο εσωτερικό του δοχείου τοποθετείται ειδική βάση, όπου μέσω αντικραδασμικών ζευγών, αναρτάται το συγκρότημα κινητήρας-αντλία. Η διάταξη αυτή αναρτήσεως συνδυάζεται με μόνωση στα καπάκια του δοχείου για την αποφυγή μετάδοσης του θορύβου. Οι μონώσεις συνδυάζονται με σιγαστήρα αποσβέσεως των παλμών, με αποτέλεσμα να μειώνεται στο ελάχιστο η μετάδοση κραδασμών και θορύβου.

Ο κινητήρας που χρησιμοποιείται σε μία εγκατάσταση υδραυλικού ανελκυστήρα, είναι συνήθως τριφασικός τάσης 380V και συχνότητας 50 Hz. Η ισχύς εκκινήσεως πρέπει να είναι διπλάσια της ονομαστικής και η συνδεσμολογία εκκινήσεως έως 8,5 KW είναι τύπου τρίγωνο. Για μεγαλύτερη ισχύς, η συνδεσμολογία που χρησιμοποιείται είναι τύπου αστέρα-τρίγωνο.

3.3 Πλεονεκτήματα

Αρχικά, προτέρημα της εγκατάστασης ενός υδραυλικού ανελκυστήρα, αποτελεί η ελεύθερη επιλογή της θέσης του μηχανοστασίου, λόγω της σύνδεσης μηχανοστασίου και ανελκυστήρα με εύκαμπτο σωλήνα. Στη συνέχεια, το χαμηλό κόστος εγκατάστασης σε μικρές διαδρομές, που αφορά το ένα ζεύγος οδηγών για την κίνηση του πλαισίου ανάρτησης και του θαλάμου, έναντι του μηχανικού που χρησιμοποιεί κύριους και βοηθητικούς. Κύριο χαρακτηριστικό των υδραυλικών ανελκυστήρων, αποτελεί το αυτόματο σύστημα απεγκλωβισμού, το οποίο σε περίπτωση διακοπής ρεύματος, κινεί τον θάλαμο σε καθοδική πορεία με μειωμένη ταχύτητα έως την πρώτη στάση. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί την ιδιότητα του υδραυλικού ανελκυστήρα να κινείται καθοδικά μόνο με το βάρος του θαλάμου και των επιβατών, χωρίς την τοποθέτηση επιπλέον μηχανικών μερών ή ειδικού λογισμικού. Τέλος, δύναται να εφοδιαστεί με inverter και κατάλληλο λογισμικό, για ελαχιστοποίηση της ενέργειας που απαιτείται για την ανέλκυση καθώς και την ενέργεια που καταναλώνεται, όταν δεν χρησιμοποιείται.

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ - Ανάπτυξη Μοντέλων Προσομοίωσης

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται η ανάπτυξη ενός μοντέλου προσομοίωσης, χρήσης ανελκυστήρα για 5 μέρες της εβδομάδας σε κτίριο 6 ορόφων (συμπεριλαμβανομένου του ισόγειου), που συστεγάζει εταιρείες και ο θάλαμος του ανελκυστήρα έχει μέγιστη χωρητικότητα 8 ατόμων. Στη συνέχεια, συγκρίνονται τα αποτελέσματα των ενεργειακών συμπεριφορών μεταξύ ενός υδραυλικού και ενός μηχανικού ανελκυστήρα για το ίδιο κτίριο, ως προς την ενέργεια που καταναλώνεται σε ετήσια βάση καθώς και της ενέργειας που μπορεί να ανακτηθεί.

Για την προσομοίωση και την μελέτη χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό MATLAB της εταιρείας MathWorks, το όνομα του οποίου προέρχεται από τις λέξεις MATrix LABoratory και υποδεικνύει την επίλυση των εξισώσεων σε μορφή πινάκων. Χρησιμοποιείται παγκοσμίως στα πανεπιστήμια και σε βιομηχανίες για μαθηματικούς υπολογισμούς, κατασκευή γραφημάτων καθώς και ανάπτυξη μοντέλων στο περιβάλλον Simulink, στοιχεία που το καθιστούν ένα χρήσιμο εργαλείο για όσους ασχολούνται με τις θετικές επιστήμες. [4]

4.1 Μελέτη κυκλοφορίας ανελκυστήρα

Ο λόγος, για τον οποίο επιλέχθηκε κτίριο που στεγάζει εταιρείες, είναι για να παρατηρηθεί η συμπεριφορά και η μέγιστη κατανάλωση ενέργειας του ανελκυστήρα κατά τις ώρες αιχμής καθώς και λόγω της συχνής χρήσης του κατά τη διάρκεια της ημέρας. Για το σχεδιασμό του μοντέλου έχουν ληφθεί οι παρακάτω υποθέσεις, οι οποίες παρατηρούνται σε μεγάλα εταιρικά κτίρια και επιβεβαιώνονται από τους Dr Richard Peters and Mrs Elizabeth Evans στο άρθρο τους με τίτλο "Measuring and Simulating Elevator Passengers in Buildings" , καθώς και του Πανεπιστημίου Ιορδανίας: . [14]

- Η ώρα, κατά την οποία οι εργαζόμενοι πάνε στην δουλειά τους και έτσι θα έχουμε το μέγιστο φορτίο (8 άτομα) και μέγιστη χρήση του ανελκυστήρα είναι 8:00 έως περίπου 9:00 το πρωί.
- Στη 13:00 έως στις 14:00, λόγω μεσημεριανού διαλείμματος, θα υπάρχει επίσης μεγάλη κίνηση του ανελκυστήρα από τους εργαζομένους που θα φεύγουν από το κτίριο, οπότε προκύπτουν διαδρομές του ανελκυστήρα οι οποίες θα καταλήγουν στο ισόγειο.
- Το βράδυ στις 19:00-20:00 ο ανελκυστήρας θα κάνει διαδρομές όπου θα λαμβάνει πελάτες από διάφορα επίπεδα και θα τα πηγαίνει στο ισόγειο ,αφού θα είναι η ώρα που τελειώνουν την δουλειά τους.

Τις υπόλοιπες ώρες της ημέρας η χρήση του ανελκυστήρα από τους εργαζομένους πραγματοποιείται τυχαία με μια μεσαία πιθανότητα χρήσης και κατανέμονται ανά όροφο. Η πιθανότητα ορίζεται από τα εξής στοιχεία:

- Για λόγους προσομοίωσης, η επιτάχυνση του ανελκυστήρα έχει ισοσταθμιστεί με την επιβράδυνση. Κατά την πραγματική ανύψωση, η επιβράδυνση υστερεί της επιτάχυνσης.
- Τα ύψη των ορόφων θεωρούνται ίσα ($h=3m$).

- Οι όροφοι έχουν ίσο αριθμό εργαζομένων και παρουσιάζουν ίση πιθανότητα. Λόγω αυτού, ο ανελκυστήρας δεν παρουσιάζει περισσότερες στάσεις σε κάποιον όροφο εκτός του ισογείου, όπου βρίσκεται η είσοδος.
- Ός χρόνος ανοίγματος των αυτόματων ποστών θαλάμου έχουν οριστεί τα 2 sec, ενώ ως χρόνος κλεισίματος των θυρών τα 3 sec.
- Ός χρόνος επιβίβασης και αποβίβασης έχουν οριστεί τα 1,2 sec. Πρόκειται για χρόνο που δεν συμπεριλαμβάνει τυχόν διαστήματα φόρτωσης, χαιρετισμό μεταξύ εργαζομένων κ.α.

Παρακάτω, παρατίθεται το διάγραμμα ροής που ακολουθήθηκε για την μελέτη της διπλωματικής εργασίας για την παραγωγή πελατών και δρομολογίων μέσα σε μία μέρα. Συγγράφηκε ακόμα κατάλληλος κώδικας για την εισαγωγή έγκυρων στοιχείων όπως ο μέγιστος αριθμός ατόμων που μπορεί να μετακινηθεί με τον ανελκυστήρα, ο μέγιστος αριθμός ορόφων του κτιρίου που μελετάται (6) και ο συνολικός εισερχόμενος πληθυσμός που παρατηρείται την συγκεκριμένη ημέρα.

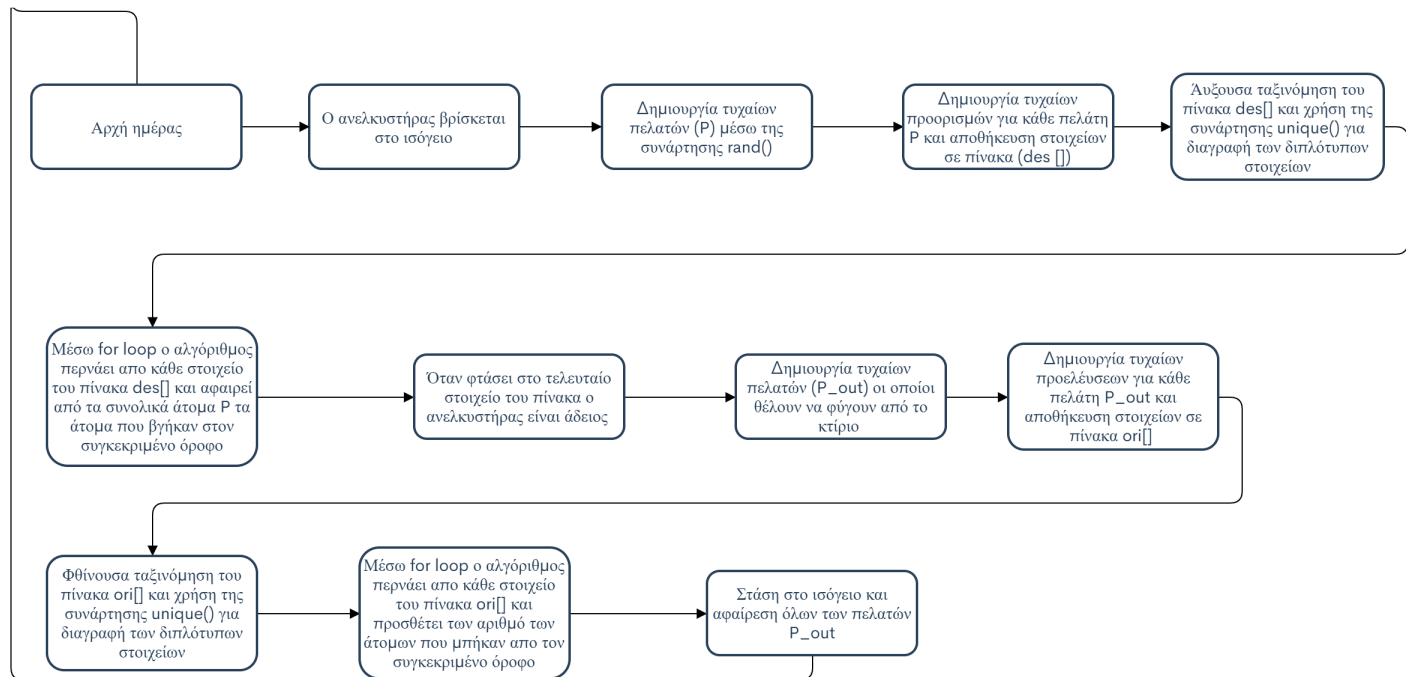


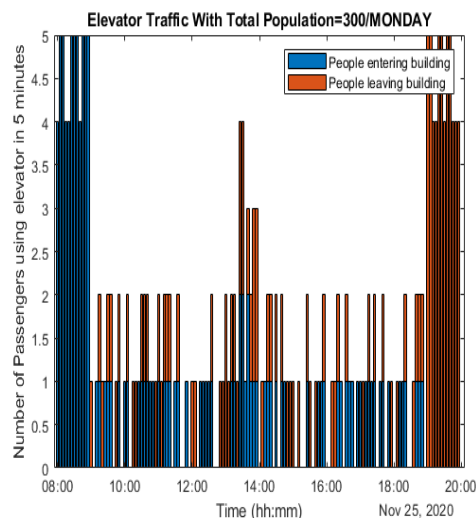
Figure 22: Διάγραμμα ροής .

Η παραπάνω ανάλυση αφορά πέντε ημέρες της εβδομάδας, εφόσον στην προσομοίωση οι εταιρείες δεν λειτουργούν το σαββατοκύριακο. Επιπροσθέτως για την κατανόηση των κινήσεων του ανελκυστήρα θα πρέπει να εξηγηθούν οι τρεις διαφορετικοί τύποι κυκλοφορίας ενός ανελκυστήρα. Αρχικά, η εισερχόμενη κυκλοφορία, η οποία αναφέρεται σε επιβάτες που επιβιβάζονται στην είσοδο και διαμοιράζονται στους διάφορους ορόφους. Στη συνέχεια, αντίθετα της εισερχόμενης, η εξερχόμενη κυκλοφορία κατά την οποία οι επιβάτες από τους διάφορους ορόφους κατευθύνονται στον όροφο της εξόδου του κτιρίου. Τέλος, η ενδοδαπέδια κυκλοφορία, η οποία αφορά επιβάτες που αφορά κίνηση μεταξύ ορόφων εκτός της

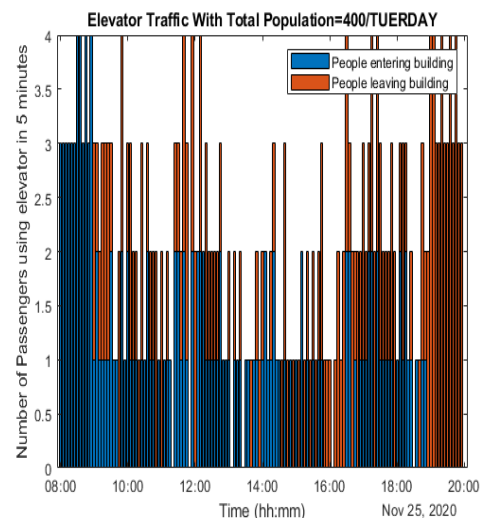
εισόδου/ εξόδου του κτιρίου. Στην συγκεκριμένη προσομοίωση, δεν παρατηρείται ενδοδαπέδια κίνηση, λόγω ότι οι εταιρείες είναι αυτόνομες με αποτέλεσμα οι εργαζόμενοι να μην χρειάζεται να μεταφέρονται σε διαφορετικούς ορόφους από τους ορόφους εργασίας τους.

Ο σχεδιασμός των γραφημάτων για κάθε μέρα της εβδομάδας, έγινε με βάση των αριθμό παρατηρούμενων εργαζομένων και επισκεπτών, με γνώμονα αναρτημένα άρθρα του Πανεπιστημίου του Hong Kong, που αφορούν κυκλοφοριακή ανάλυση ανελκυστήρα σε κτίρια που συστεγάζονται εταιρείες. [5] Για την προσομοίωση, χρησιμοποιήθηκε σαν δεδομένο, ότι τη Δευτέρα εισέρχονται στο κτίριο 300 άτομα, την Τρίτη 600 άτομα, την Τετάρτη 800 άτομα, την Πέμπτη 400 άτομα και την Παρασκευή 1000 άτομα.

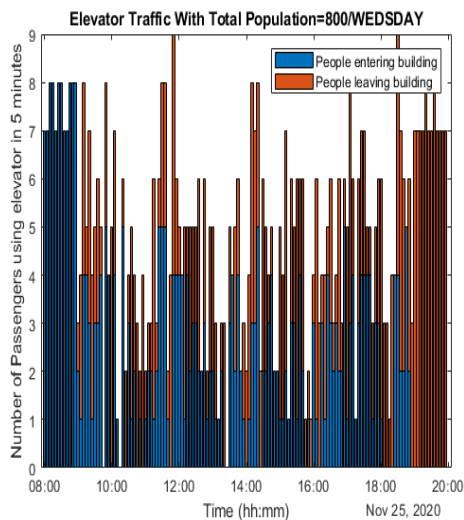
Παρακάτω, εμφανίζονται τα γραφήματα για τις πέντε μέρες της εβδομάδας που λειτουργούν οι εταιρείες. Στον οριζόντιο άξονα εμφανίζεται ο χρόνος από τις 08:00 το πρωί έως τις 20:00 το βράδυ, ενώ στον κάθετο άξονα τα άτομα στο κτίριο. Τα άτομα διαχωρίζονται σε δύο ομάδες. Αρχικά, τα άτομα που εισέρχονται στο κτίριο με μπλέ χρωματισμό και τα άτομα που εξέρχονται του κτιρίου με πορτοκαλί χρωματισμό.



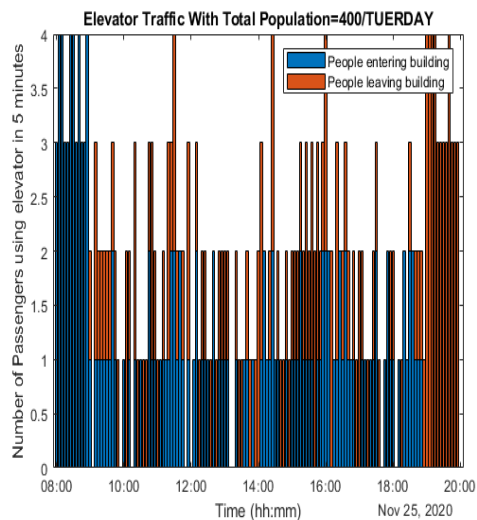
(a) Δευτέρα.



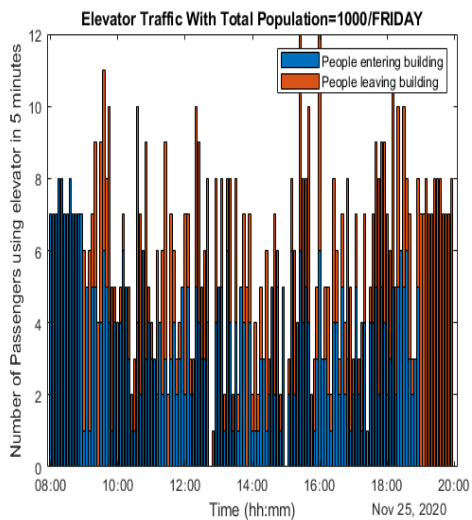
(b) Τρίτη.



(a) Τετάρτη.



(b) Πέμπτη.



Στη συνέχεια , παρατίθενται ενδεικτικά τα δεδομένα χρήσης του ανελκυστήρα για μία ημέρα με τον τρόπο που αναλύθηκε στο παραπάνω διάγραμμα ροής. Στην αριστερά στήλη, εμφανίζεται ο χρόνος ανά 5 λεπτά και στη δεξιά στήλη πόσα άτομα εισήλθαν και εξήλθαν ανά διαδρομή του ανελκυστήρα. Οι προορισμοί των ατόμων που εισήλθαν στον ανελκυστήρα υπολογίζονται απο την αθροιστική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας (CDF) του πληθυσμού του κτιρίου.

Hour_of_Day	Building_Traffic
19-11-20	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 00:05	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 00:10	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 00:15	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 00:20	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 00:25	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 00:30	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 00:35	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 00:40	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 00:45	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 00:50	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 00:55	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 01:00	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 01:05	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 01:10	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 01:15	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 01:20	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 01:25	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 01:30	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 01:35	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 01:40	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 01:45	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 01:50	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 01:55	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 02:00	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 02:05	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 02:10	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 02:15	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 02:20	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 02:25	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 02:30	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 02:35	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 02:40	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 02:45	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 02:50	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 02:55	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 03:00	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 07:10	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 07:15	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 07:20	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 07:25	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 07:30	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 07:35	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 07:40	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 07:45	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 07:50	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 07:55	/Gnd 0 in // /Gnd 0 out
19-11-20 08:00	/Gnd 7 in/1 floor - 1 out /2 floor - 1 out /3 floor - 1 out /4 floor - 1 out /5 floor - 3 out // /Gnd 0 out
19-11-20 08:05	/Gnd 7 in/1 floor - 3 out /2 floor - 1 out /3 floor - 1 out /4 floor - 2 out // /Gnd 0 out
19-11-20 08:10	/Gnd 7 in/1 floor - 4 out /2 floor - 1 out /3 floor - 1 out /4 floor - 1 out // /Gnd 0 out
19-11-20 08:15	/Gnd 8 in/1 floor - 1 out /2 floor - 1 out /3 floor - 3 out /4 floor - 1 out /5 floor - 2 out // /Gnd 0 out
19-11-20 08:20	/Gnd 8 in/2 floor - 2 out /3 floor - 1 out /4 floor - 2 out /5 floor - 3 out // /Gnd 0 out
19-11-20 08:25	/Gnd 7 in/2 floor - 2 out /3 floor - 1 out /4 floor - 2 out /5 floor - 2 out // /Gnd 0 out
19-11-20 08:30	/Gnd 7 in/1 floor - 2 out /3 floor - 3 out /4 floor - 2 out // /Gnd 0 out
19-11-20 08:35	/Gnd 7 in/1 floor - 2 out /3 floor - 2 out /4 floor - 2 out /5 floor - 1 out // /Gnd 0 out
19-11-20 08:40	/Gnd 8 in/1 floor - 3 out /2 floor - 1 out /4 floor - 2 out /5 floor - 2 out // /Gnd 0 out
19-11-20 08:45	/Gnd 7 in/1 floor - 2 out /2 floor - 2 out /3 floor - 2 out /5 floor - 1 out // /Gnd 0 out
19-11-20 08:50	/Gnd 7 in/1 floor - 1 out /2 floor - 2 out /3 floor - 2 out /4 floor - 1 out /5 floor - 1 out // /Gnd 0 out
19-11-20 08:55	/Gnd 8 in/1 floor - 1 out /2 floor - 4 out /3 floor - 3 out // /Gnd 0 out
19-11-20 09:00	/Gnd 3 in/3 floor - 2 out /5 floor - 1 out // /2 floor - 2 in /Gnd 2 out
19-11-20 09:05	/Gnd 1 in/2 floor - 1 out // /5 floor - 1 in /4 floor - 2 in /Gnd 3 out
19-11-20 09:10	/Gnd 1 in/3 floor - 1 out // /Gnd 0 out
19-11-20 09:15	/Gnd 2 in/2 floor - 1 out /3 floor - 1 out // /3 floor - 1 in /2 floor - 1 in /Gnd 2 out
19-11-20 09:20	/Gnd 1 in/2 floor - 1 out // /Gnd 0 out
19-11-20 09:25	/Gnd 3 in/2 floor - 1 out /3 floor - 1 out /4 floor - 1 out // /5 floor - 1 in /4 floor - 1 in /1 floor - 1 in /Gnd 3 out
19-11-20 09:30	/Gnd 2 in/3 floor - 1 out /5 floor - 1 out // /5 floor - 1 in /Gnd 1 out
19-11-20 09:35	/Gnd 2 in/2 floor - 1 out /3 floor - 1 out // /Gnd 0 out
19-11-20 09:40	/Gnd 1 in/5 floor - 1 out // /2 floor - 1 in /Gnd 1 out
19-11-20 09:45	/Gnd 2 in/1 floor - 1 out /4 floor - 1 out // /1 floor - 1 in /Gnd 1 out
19-11-20 09:50	/Gnd 1 in/3 floor - 1 out // /5 floor - 1 in /4 floor - 1 in /Gnd 2 out
19-11-20 09:55	/Gnd 3 in/1 floor - 1 out /2 floor - 1 out /3 floor - 1 out // /Gnd 0 out
19-11-20 10:00	/Gnd 1 in/1 floor - 1 out // /3 floor - 1 in /1 floor - 1 in /Gnd 2 out
19-11-20 10:05	/Gnd 1 in/5 floor - 1 out // /4 floor - 1 in /Gnd 1 out
19-11-20 10:10	/Gnd 2 in/4 floor - 2 out // /Gnd 0 out
19-11-20 10:15	/Gnd 1 in/5 floor - 1 out // /1 floor - 1 in /Gnd 1 out

4.1.1 Προφίλ κίνησης ανελκυστήρα

Το προφίλ κίνησης ενός ανελκυστήρα χαρακτηρίζεται από ένα τραπεζοειδές προφίλ ταχύτητας . Συγκεκριμένα, από μηδενική ταχύτητα υπάρχει ένα διάστημα, όπου ο ανελκυστήρας επιταχύνει, ένα διάστημα που έχει σταθερή ταχύτητα και τέλος ένα διάστημα όπου επιβραδύνει. Ως ιδανικό ανελκυστήρα θεωρούμε τον ανελκυστήρα, ο οποίος αποκτά σε κάθε διαδρομή την ονομαστική του ταχύτητα, όπου σε πραγματικό χρόνο η ονομαστική ταχύτητα αναπτύσσεται μόνο όταν πραγματοποιείται διαδρομή από χαμηλότερο σε υψηλότερο όροφο χωρίς ενδιάμεση στάση. Τα διαστήματα χρόνου εξηγούνται στον παρακάτω πίνακα:

χρόνος επιτάχυνσης	t_a
χρόνος σταθερής ταχύτητας	t_c
χρόνος επιβράδυνσης	t_d
χρόνος αναμονής (άνοιγμα -κλείσιμο θυρών)	t_p

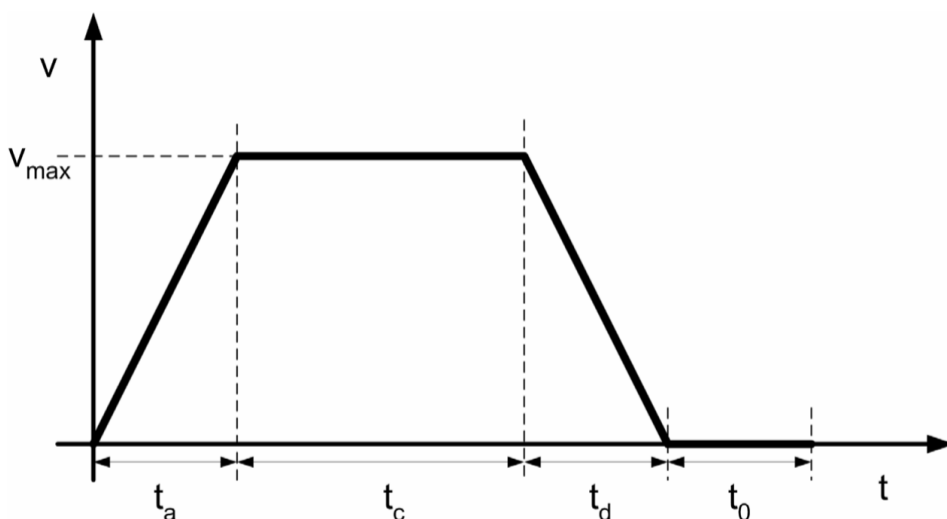


Figure 25: Τυπικό τραπεζοειδές προφίλ ταχύτητας. Πηγή : Παπαιωακείμ Παντελεήμων , Οικονομοτεχνική μελέτη ανελκυστήρων, 2012

Με βάση το παραπάνω διάγραμμα κίνησης, αναπτύχθηκε κατάλληλος κώδικας για τον υπολογισμό του χρόνου από όροφο σε όροφο, ο οποίος δημιουργεί έναν πίνακα που περιέχει τις απόστάσεις μεταξύ των ορόφων και στη συνέχεια ανάλογα της απόστασης και της ταχύτητας, υπολογίζει τον τελικό χρόνο. Η απόσταση από όροφο σε όροφο για την προσομοίωση έχει οριστεί σε $d=3m$. Ο πίνακας έχει μέγεθος $N+1$ επί $N+1$, όπου N είναι οι όροφοι επιβατών και προστίθεται ο 1 όροφος εισόδου.

4.2 Αρχή λειτουργίας Ηλεκτροκίνητου ανελκυστήρα

Στο Κεφάλαιο 2.1 εμφανίζεται ο τρόπος λειτουργίας των ηλεκτροκίνητων ανελκυστήρων και μία σύντομη αναφορά στα βασικότερα στοιχεία που αποτελούν μια τέτοια εγκατάσταση. Με βάση τις συγκεκριμένες αναφορές προκύπτει ότι η λειτουργία τους βασίζεται στην ύπαρξη ενός συστήματος κινητήρα τροχαλίας με κοινό άξονα, το οποίο μέσω συρματόσχοινων ισορροπεί ένα σύστημα θαλάμου-αντίβαρου. Ένα σύστημα οδήγησης φροντίζει για την κίνηση του θαλάμου, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής.

Η σχέση του αντίβαρου με τον θάλαμο και πιο συγκεκριμένα με το μεικτό βάρος θαλάμου- ωφέλιμου φορτίου αποτελεί ένα από τα πιο σοβαρά ζητήματα. Μία συνηθισμένη σχέση ωφέλιμου φορτίου/αντίβαρου είναι η παρακάτω γιατί οδηγεί σε κινητήρα χαμηλότερης ονομαστικής ισχύος, οπότε μειώνεται το αρχικό κόστος εγκατάστασης και η ηλεκτρική κατανάλωση :

$$F_{\text{counterweight}} = P + 0.5 * Q$$

όπου P : Βάρος άδειου θαλάμου μαζί με συρματόσχοινα και τροχαλία, όπου υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο :

$$P = 100 + 50 * N$$

και για τον υπολογισμό του ωφέλιμου φορτίου ισχύει:

$$Q = 75 * N$$

όπου N ο αριθμός των ατόμων που μεταφέρει ο ανελκυστήρας.

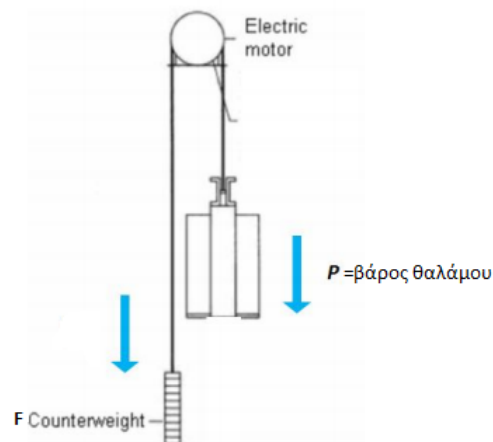


Figure 26: Γεωμετρία συστήματος Μηχανικού ανελκυστήρα . Πηγή : Τασιούλης Κωνσταντίνος, Ανελκυστήρας χωρίς μηχανοστάσιο, 2009

Παρακάτω, εμφανίζεται το χειρότερο σενάριο επιβάρυνσης του κινητήρα και ισχύει όταν θα πρέπει να κινηθεί ο θάλαμος με πλήρες φορτίο (γεμάτο) ή εντελώς άδειο. Όταν ο θάλαμος θα πρέπει να ανέβει γεμάτος τότε ο κινητήρας χρειάζεται την μέγιστη ροπή με αποτέλεσμα τη μέγιστη κατανάλωση ενέργειας. Το ίδιο συμβαίνει και όταν πρέπει να κατέβει άδειος γιατί το αντίβαρο, το οποίο την ίδια στιγμή ανεβαίνει, είναι βαρύτερο από τον άδειο θάλαμο, άρα ουσιαστικά ο κινητήρας αυξάνει τη ροπή για να ανυψωθεί το αντίβαρο (καταστάσεις Β, Γ). Στις δύο αντίθετες κινήσεις, δηλαδή όταν ο θάλαμος κατεβαίνει γεμάτος ή ανεβαίνει άδειος, βρισκόμαστε σε μία κατάσταση όπου το πιο βαρύ από τα δύο είναι σε κάθοδο. Και στις δύο αυτές περιπτώσεις το σύστημα οδήγησης πρέπει να μειώσει την ταχύτητα της μηχανής, άρα αυτή είναι σε κατάσταση πέδησης. Αυτό σημαίνει ότι η ροπή της μηχανής έχει αντίθετη κατεύθυνση από την ταχύτητα, και σύμφωνα με την αρχή των μηχανών, αρνητική ροπή σημαίνει μηχανή σε λειτουργία γεννήτριας. Η ισχύς λοιπόν που παράγεται όσο διαρκεί αυτή η κατάσταση, τείνει να γυρίσει προς την πηγή τροφοδοσίας (καταστάσεις Α, Δ).

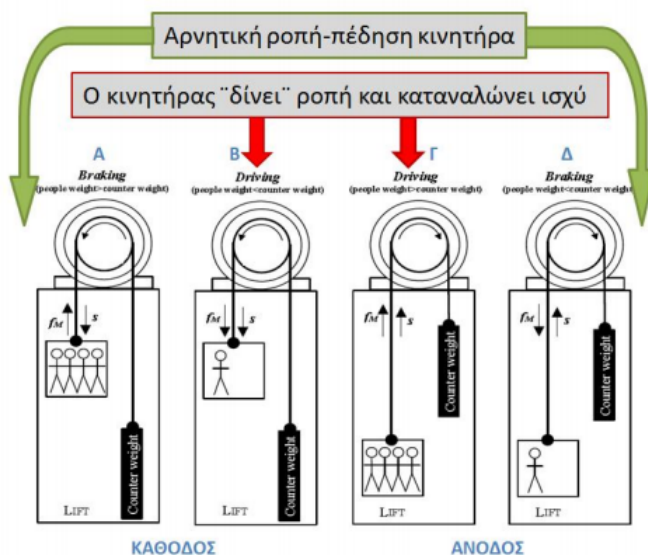


Figure 27: Καταστάσεις λειτουργίας ανελκυστήρα. Πηγή : Παπαιωαχείμ Παντελεήμων , Οικονομοτεχνική μελέτη ανελκυστήρων, 2012

Σύμφωνα με την παραπάνω εικόνα η ισχύς που παράγεται καθώς ο ανελκυστήρας ανεβαίνει με φορτίο μικρότερο από το βάρος του αντιβάρου ή κατεβαίνει γεμάτο, γυρίζει προς το δίκτυο και ονομάζεται ισχύς πέδησης και χάνεται, γιατί ουσιαστικά καταναλώνεται στην αντίσταση R η οποία ονομάζεται δυναμική αντίσταση πέδησης .

4.2.1 Μεθοδολογία υπολογισμού απαιτούμενης μηχανικής ισχύος για κάθε διαδρομή

Στόχος της ανάλυσης που θα ακολουθήσει στο συγκεκριμένο κεφάλαιο είναι ο υπολογισμός της ισχύος που απορροφάται και καταναλώνεται από το σύστημα με χρήση ειδικών μαθηματικών τύπων. Βασικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και λήφθηκαν υπόψιν για την μελέτη είναι οι εξής:

- Η επίδραση του βάρους, οπότε και του αριθμού των επιβατών που σηκώνει κάθε δεδομένη στιγμή ο ανελκυστήρας
- Η απόσταση την οποία διανύει, οπότε και το ύψος του κτιρίου ή αλλιώς ο αριθμός των ορόφων του
- Ο χαρακτήρας του κτιρίου της εγκατάστασης και πως επηρεάζει την ενεργειακή συμπεριφορά σε επίπεδο ετήσιων κύκλων λειτουργίας
- Η επίδραση των βοηθητικών φορτίων (καταναλώσεις σε κατάσταση αναμονής και φορτία του θαλάμου) για τον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης σε ημερήσιο κύκλο λειτουργίας.

Το σημαντικότερο στοιχείο στην εγκατάσταση ενός ανελκυστήρα, είναι ο προσδιορισμός της ονομαστικής ισχύος του κινητήρα. Η λειτουργία εγκατάστασης χαρακτηρίζεται από κάποια θεμελιώδη μεγέθη. Η αναφορά σε αυτά είναι απαραίτητη για να γίνει κατανοητή η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί. Οι μαθηματικές σχέσεις, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν προκύπτουν και είναι εναρμονισμένες με τα πρότυπα που ακολουθούν οι εγκαταστάσεις ανελκυστήρων και πιο συγκεκριμένα το EN ISO 25745-2.

Ο ISO (Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης) είναι μια παγκόσμια ομοσπονδία εθνικών φορέων τυποποίησης. Το πρότυπο EN ISO 25745-2, που χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη εργασία με γενικό τίτλο “Ενεργειακή Απόδοση Ανελκυστήρων, Κυλιόμενων Σκαλών και Κινούμενων Περιπάτων”, αναφέρεται στην μέτρηση και εξακρίβωση της ενέργειας, στο υπολογισμό και ταξινόμηση ενέργειας για ανελκυστήρες και στον υπολογισμό και ταξινόμηση ενέργειας για κυλιόμενες σκάλες και κινούμενους περιπάτους. [6]

Αριθμός ατόμων N : Ένα θεμελιώδες μέγεθος το οποίο πρέπει να προσδιορίσουμε είναι ο μέγιστος αριθμός των ατόμων που μπορεί να μεταφέρει ο ανελκυστήρας. Για την συγκεκριμένη διπλωματική έχουμε λάβει ως δεδομένο ότι ο ανελκυστήρας μπορεί να μεταφέρει έως και 8 άτομα.

Ωφέλιμο βάρος Q: Ο αριθμός των ατόμων προσδιορίζει το βάρος το οποίο θα πρέπει να μετακινήσει ο κινητήρας και ως δεδομένο θεωρούμε το βάρος του ενός ατόμου ίσο με 75kg. Άρα:

$$Q = 75 * N = 600kg$$

Βάρος Θαλάμου P : Σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO 25745-2 δίνεται από την σχέση.

$$P = 100 + 50 * N = 500kg$$

Αντίβαρο Fcounterweight : Το βάρος που πρέπει να έχει το αντίβαρο. Εξηγήθηκε η διαστασιολόγηση του σε προηγούμενη ενότητα (4.2) και για την συγκεκριμένη διπλωματική έχει την παρακάτω τιμή.

$$F_{counterweight} = P + 0.5 * Q = 800kg$$

Αριθμός Ορόφων K: Ο αριθμός ορόφων του κτιρίου που μελετάμε.

Ύψος ορόφου h : Το ύψος του κάθε ορόφου εξαρτάται από τον χαρακτήρα του κτιρίου. Σε κτίρια κατοικιών λήφθηκε υπ' όψιν :h=3m

Στα υπόλοιπα (Εμπορικά, Γραφεία, Ξενοδοχεία, Νοσοκομεία) : h=3,5m

Ταχύτητα ανελκυστήρα U : Ονομαστικό στοιχείο του ανελκυστήρα που το καθορίζει ο κατασκευαστής. Για ηλεκτροκίνητους ανελκυστήρες όπου τοποθετούνται σε κτίρια με 6 στάσεις και μέγιστο αριθμό 8 ατόμων οι κατασκευαστές χρησιμοποιούν ονομαστική ταχύτητα $u=0,9$ m/sec.

Κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού i, η στιγμιαία ζήτηση μηχανικής ισχύος του κινητήρα ενός ανελκυστήρα εξαρτάται από τις μάζες (τη μάζα του ανελκυστήρα, τη μάζα του φορτίου και το ονομαστικό φορτίο) που θα ανυψωθούν, η αναλογία αντίβαρου (K) και το μέγεθος της ταχύτητας (u) και επιτάχυνσης (a). Ο μαθηματικός τύπος σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO 25745-2, όπου υπολογίζει την ζήτηση μηχανικής ισχύος σε μία χρονικής στιγμή φαίνεται παρακάτω:

$$P(t) = u(t) * ((Cjm + mload + 2 * P + K * Q) * a(t) + g * (mload - K * Q))$$

,όπου Cjm είναι η σταθερά αδράνειας και ο τρόπος υπολογισμού του εξηγείται περαιτέρω στον παρακάτω πίνακα, και g είναι η επιτάχυνση λόγω της βαρύτητας ($= 9.8m/s^2$). Το πρόσημο της ταχύτητας επιλέγεται θετικό όταν ο θάλαμος του ανελκυστήρα ταξιδεύει προς τα πάνω, ενώ αντίθετα επιλέγεται αρνητικό όταν ταξιδεύει προς τα κάτω.

Traction	elevator
acceleration/deceleration	1.0 m/sec ²
Counterweight ratio,K	0.5
Rated motor power[KWatt],Prated	$Q*g*u*(1-K)/n/1000$
Motor Inertia[kgm ²], Jm	$00.6*Prated-0.3 \text{ kgm}^2, \min(Jm) = 0.2 \text{ kgm}^2$
Inertia constant[kg],Cjm	$280 \text{ 1/m}^2 * Jm$

Η σταθερά αδράνειας (Cjm), χρησιμοποιήθηκε για την αναπαράσταση ενός συντελεστή της μάζας μιας τυπικής ρύθμισης κινητήρα έλξης για την επίτευξη ορισμένης ονομαστικής ισχύος. Στόχος είναι η μίμηση της είδρασης της αδράνειας του κινητήρα, των τροχών και των τροχαλίων στην πραγματική μάζα και, κατά συνέπεια, στη ζήτηση ισχύος κατά την επιτάχυνση και την επιβράδυνση. Για τον υπολογισμό της σταθεράς αδράνειας χρειάζεται και ο υπολογισμός για την ροπή αδράνειας του κινητήρα Jm. Η ροπή αδράνειας του κινητήρα αποτελεί ένα κατασκευαστικό μέγεθος το οποίο προκύπτει από τα τεχνικά έντυπα των κατασκευαστών. Στον παρακάτω πίνακα παραθέτουμε αντίστοιχα έντυπα. Στην τελευταία στήλη φαίνεται η ροπή αδράνειάς τους.

ZETATOP Motor Data														ZIEHL-ABEGG									
Type	Sim	Encoder	PWN	Speed	FS_nom	Pole	IS_nom	nom. Torq	Eta	max. Torq	IS_max	ED/DCT*	RS(80°C)	RS(20°C)	XS	LS	FLUX	EMK	Jmot				
			[V]	[rpm]	[Hz]		[A]	[Nm]	[%]	[Nm]	[A]	[%]	[Ohm]	[Ohm]	[Ohm]	[mH]	[V]	[V]	[kgm²]				
200.15B-20		ECN1313 /	1,6	84	14	10	5,5	180	55	315	10	35	11,75	9,51	10,24	116,4	1,55	98	0,2				
200.15B-20		ERN1387	3,2	168	28	10	10	180	74	315	18	35	3,33	2,7	5,0	33,54	0,83	103	0,2				
200.15B-20			3,5	186	31	10	10	180	76	315	18	35	3,33	2,7	6,54	33,58	0,83	114	0,2				
200.15B-20			4,3	186	31	10	12	220	75	330	19	25	3,33	2,7	6,54	33,58	0,83	114	0,2				
200.20B-20		ECN1313 /	2,1	84	14	10	6,7	240	63	420	13	35	8,7	7,04	8	90,95	1,8	100	0,25				
200.20B-20		ERN1387	4,2	168	28	10	10,8	240	76	420	22	35	3,45	2,79	6,13	34,84	0,99	123	0,25				
200.20B-20			4,7	186	31	10	12,5	240	77	420	24	35	2,801	2,267	5,784	29,7	0,92	127	0,25				
200.20B-20			6,5	258	43	10	16	240	82	420	31	35	1,51	1,31	4,51	16,69	0,69	132	0,25				
200.20B-20			7,5	300	50	10	19	240	85	420	35	35	1,226	0,992	4,146	13,2	0,61	136	0,25				
200.30B-20		ECN1313 /	3,3	84	14	10	10,5	380	66	605	20	35	5,05	4,09	5,59	63,55	1,66	103	0,35				
200.30B-20		ERN1387	4,8	120	20	10	13	380	74	605	26	35	3,14	2,54	5,02	39,95	1,32	117	0,35				
200.30B-20			6,7	168	28	10	17	380	76	605	34	35	1,95	1,58	4,3	24,44	1,03	128	0,35				
200.30B-20			7,8	192	32	10	19	380	81	605	37	35	1,53	1,24	3,89	19,35	0,92	131	0,35				
200.30B-20			16,3	258	43	10	25	380	86	605	50	35	0,88	0,71	2,94	10,88	0,69	132	0,35				
225.30-20		ECN1313 /	3,2	60	10	10	11	550	70	850	18	40	3,53	2,86	3,63	57,77	2,231	99	0,5				
225.30-20		ERN1387 /	5	96	16	10	15,5	550	76	850	30	40	1,76	1,43	2,96	29,44	1,53	109	0,5				
225.30-20		SRS600	6,3	120	20	10	17,5	550	80	850	33	40	1,5	1,2	2,98	23,11	1,34	119	0,5				
225.30-20			8,2	156	26	10	23	550	84	850	40	40	0,81	0,66	2,16	13,22	1,03	119	0,5				
225.30-20			10	192	32	10	25	550	87	850	50	40	0,67	0,54	2,23	11,69	0,95	136	0,5				
225.40-20		ECN1313 /	4,5	60	10	10	16	710	61	1200	25	40	3,53	2,86	3,63	57,77	2,231	99	0,5				
225.40-20		ERN1387 /	7	96	16	10	22,5	710	72	1200	43	40	1,76	1,43	2,96	29,44	1,53	109	0,5				
225.40-20		SRS600	8	108	18	10	22,5	710	74	1200	43	40	1,76	1,43	3,38	29,71	1,53	122	0,5				
225.40-20			9	120	20	10	25	710	75	1200	47	40	1,5	1,2	2,26	17,98	1,287	114	0,5				
225.40-20			11,5	156	26	10	33,5	710	80	1200	65	40	0,81	0,66	2,16	13,22	1,03	119	0,5				
225.40-20			12,5	168	28	10	33,5	710	81	1200	65	40	0,81	0,66	2,33	13,24	1,03	128	0,5				
225.40-20			13	192	32	10	33	650	84	1100	65	40	0,666	0,539	2,23	11,69	0,95	135	0,5				
225.50B-20		ECN1313 /	7	60	10	10	23	1120	64	1900	39	40	2,37	1,92	2,76	43,83	2,35	104	0,75				
225.50B-20		ERN1387 /	11	96	16	10	35	1120	75	1900	61	40	1,06	0,86	1,97	19,8	1,55	110	0,75				
225.50B-20		SRS600	12,5	108	18	10	35	1120	75	1900	61	40	1,06	0,86	2,22	19,63	1,55	124	0,75				
225.50B-20			14	120	20	10	42	1120	76	1900	75	40	0,696	0,563	1,7	13,53	1,27	113	0,75				
225.50B-20			15	156	26	10	53,5	1120	81	1900	98	40	0,45	0,37	1,41	8,631	1,02	118	0,75				
225.50B-20			20	168	28	10	53,5	1120	82	1900	98	40	0,45	0,37	1,52	8,64	1,02	127	0,75				
225.50B-20			20	192	32	10	53,5	1000	85	1900	116	40	0,36	0,29	1,33	6,615	0,89	127	0,75				
225.50B-20			25	240	40	10	65	1000	86	1900	130	40	0,264	0,214	1,22	4,864	0,76	135	0,75				
225.50B-20			31,5	336	56	10	70	900	90	1900	155	40	0,181	0,147	1,19	3,352	0,64	198	0,75				
250.50B-20		ECN1313 /	10	60	10	10	30	1600	68	2400	47	40	1,68	1,36	2,62	41,7	2,54	113	1,2				
250.50B-20		ERN1387 /	16	96	16	10	43	1600	77	2400	68	40	0,797	0,645	1,98	19,7	1,75	124	1,2				
250.50B-20		SRS600	20	120	20	10	52,5	1600	81	2400	83	40	0,532	0,431	1,66	13,21	1,43	127	1,2				
250.50B-20			25	156	26	10	68	1600	84	2400	107	40	0,325	0,263	1,3	7,958	1,11	128	1,2				
250.50B-20			32	192	32	10	80	1600	86	2400	125	40	0,239	0,193	1,18	5,899	0,85	135	1,2				
250.50B-20			38	240	40	10	92	1500	89	2400	150	40	0,164	0,132	1,021	4,062	0,79	140	1,2				
250.50B-20			42	336	56	10	94	1200	92	2400	190	55	0,105	0,086	0,915	2,8	0,54	159	1,2				

max. 240 Fahrten/Stunde, max. 240 startst-hour

Ausgangsbatteriespannung des Frequenzumrichter 360V / Output voltage of frequency inverter min. 360V

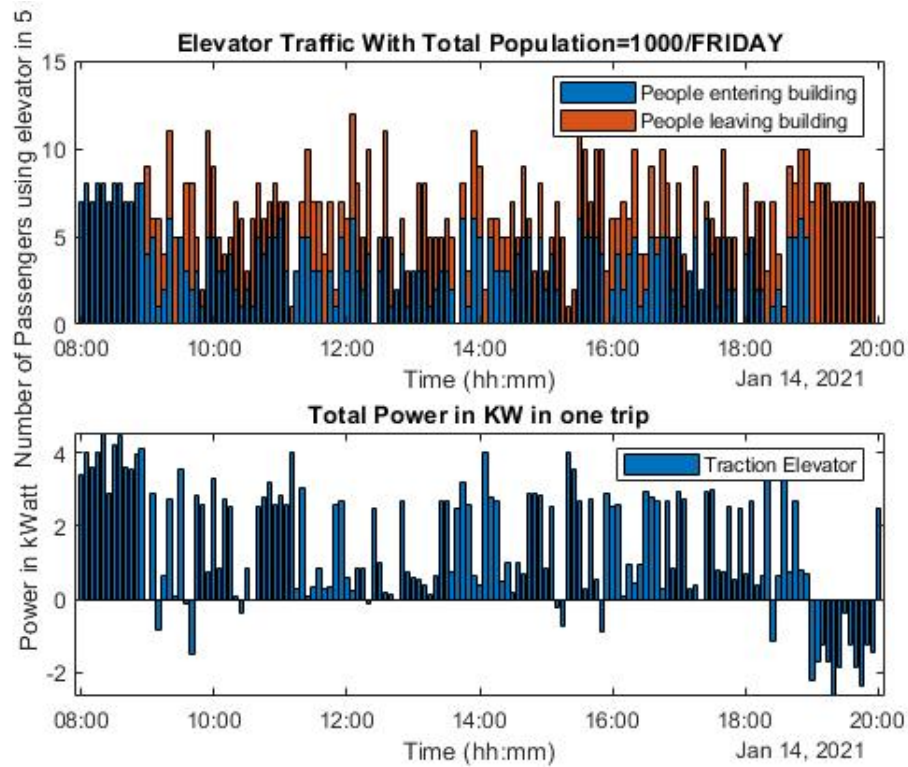
PWN: Bemessungsbatteriespannung / nominal power of IS: IS_nom; Bemessungsstromquadrat / nominal frequency / IS_nom: Bemessungsstrom / nominal current of eta: Eta; Wirkungsgrad / efficiency; max. Torq: Beschleunigungsberechnung / max. Torq: Beschleunigungsberechnung / IS_max: Beschleunigungsstrom / acceleration current; ED: Einschaltüberlast / DCT: Duty cycle time; RS: Statorinduktivität / RS: Statorinduktivität / L: Latorinduktivität / L: Latorinduktivität / XS: Statorinduktivität / XS: Statorinduktivität / LS: Latorinduktivität / LS: Latorinduktivität / EMK: Statorinduktivität / EMK: Statorinduktivität / Jmot: Statorinduktivität / Jmot: Statorinduktivität

* max. 240 Fahrten/Stunde, max. 240 startsthour
Ausgangsspannung des Frequenzumrichters min. 360V / Output voltage of frequency inverter min. 360V
PWN: Bemessungsleistung / nominal power // FS_nom: Bemessungsfrequenz / nominal frequency // IS_nom: Bemessungsstrom / nominal current // Eta: Wirkungsgrad / efficiency
max. Torq: Beschleunigungsmoment / acceleration torque // IS_max: Beschleunigungsstrom / acceleration current // ED: Einschaltzeit / DCT: Duty cycle time // RS: Statorwiderstand / stator resistance
XS: Statorreaktanzen / stator reactance // LS: Statorinduktivität / stator inductance // Jmot: Massenträgheitsmoment / inertia of motor w/o traction sheave

Figure 28: Τεχνικά χαρακτηριστικά κινητήρων ανελκυστήρων (Πηγή: ZIEHL-ABEGG).

Όσον αφορά τον μηχανικό ανελκυστήρα, ο υπολογισμός της ενέργειας που καταναλώνει καθίσταται δύσκολος, διότι το βάρος που ανεβαίνει από όροφο σε όροφο δεν είναι σταθερό, λόγω της μεταβαλλόμενης ισχύος που προκύπτει από την ταυτόχρονη κίνηση του θαλάμου με το φορτίο και του αντιβάρου. Στην προσομοίωση, λήφθηκε ως δεδομένο πως οι μάζες μένουν σταθερές, όπως και η ταχύτητα, οπότε η απαιτούμενη ισχύς από όροφο σε όροφο είναι πάντα σταθερή.

Παρακάτω, εμφανίζεται η συνολική ζήτηση της μηχανικής ισχύος σε διαδρομές μετ' επιστροφής που κάνει ο ανελκυστήρας μία ολόκληρη ημέρα (08:00 έως 20:00) ανά 5 λεπτά . Οι τιμές που εμφανίζονται συμβαδίζουν, σε σχέση με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, για παράδειγμα στις 8:00 το πρωί, λόγω ώρας αιχμής, ανεβαίνει με πλήρης φορτίο (8 άτομα), οπότε με βάση την Εικόνα στο Κεφάλαιο 4.2, καταναλώνει ισχύ, ενώ όσο ανεβαίνει και μειώνεται το φορτίο έχουμε αρνητική ροπή, διότι ο θάλαμος παρασέρνεται από το αντίβαρο και έτσι πραγματοποιείται η πέδηση του κινητήρα.



Τα τελευταία χρόνια, οι κατασκευαστές κινητήρων για ανελκυστήρες έχουν καταλήξει σε τυποποιημένες ισχύεις κινητήρων, οι οποίοι συνήθως συνδυάζονται με τον μέγιστο αριθμό ατόμων που καλείται να εξυπηρετήσει ο θάλαμος. Ωστόσο, για μία εγκατάσταση ενός μηχανικού ανελκυστήρα σε ένα 6 όροφο κτίριο με μέγιστο αριθμό 8 ατόμων η ονομαστική ισχύς είναι $P_{rated}=4.2 \text{ KW}$

4.3 Αρχή λειτουργίας Υδραυλικού ανελκυστήρα

Η αρχή λειτουργίας ενός υδραυλικού ανελκυστήρα βασίζεται κυρίως στην κίνηση ενός υδραυλικού εμβόλου, στο οποίο έχει αναρτηθεί ο θάλαμος. Όταν ο θάλαμος πηγαίνει στους πάνω ορόφους, χρησιμοποιείται ένα ζεύγος ηλεκτροκινητήρα-αντλίας, μέσω του οποίου στέλνεται υδραυλικό λάδι με πίεση στο έμβολο, το οποίο υποχρεούται σε μια κίνηση ανόδου, όπου τελικά παρασύρει σε ίδιου είδους κίνηση το θάλαμο μέσω του συστήματος ανάρτησης του. Η προστασία του υδραυλικού κυκλώματος από υπερπίεσεις που είναι δυνατόν να προκληθεί από υπερφόρτωση ή από την συνάντηση του θαλάμου με κάποιο εμπόδιο, εξασφαλίζεται από την βαλβίδα υπερπίεσης.

Η συγκεκριμένη βαλβίδα ρυθμίζεται σε κάποια πίεση ασφαλείας που είναι αυξημένη περίπου κατά 15% σε σχέση με την κανονική πίεση λειτουργίας. Οπότε, όταν η πίεση του συστήματος υπερβεί το κρίσιμο όριο ασφαλείας, ανοίγει η βαλβίδα υπερπίεσης και το λάδι επιστρέφει στο δοχείο του. Ακόμη, σε μία υδραυλική εγκατάσταση υπάρχει μια βαλβίδα αντεπιστροφής, η οποία εμποδίζεται τη επιστροφή του λαδιού προς το δοχείο μέσω του κυκλώματος ανόδου, όταν το σύστημα βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας, μια βαλβίδα by pass, μέσω της οποίας εξασφαλίζεται η ομαλή κίνηση κατά την εκκίνηση και το σταμάτημα του κινητήρα.

Κατά την κίνηση του ανελκυστήρα στους κάτω ορόφους, το ζεύγος ηλεκτροκινητήρα-αντλία δεν χρειάζεται να είναι σε λειτουργία. Το λάδι που υπάρχει μέσα στον κύλινδρο επιστρέφει από ειδική βαλβίδα λόγω της πίεσης που υπάρχει στον κύλινδρο από τα αναρτημένα βάρη. Η ομαλότητα της κίνησης του θαλάμου ελέγχεται από βοηθητικές ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες. Αυτές σε σχέση με το άνοιγμα της βαλβίδας καθόδου ρυθμίζουν την ποσότητα του λαδιού που επιστρέφει στο δοχείο. Η ενεργοποίηση των βαλβίδων αυτών πραγματοποιείται από τις εντολές που δέχονται από τον πίνακα χειρισμού, μέσω διακοπών στο φρεάτιο. Δεδομένου ότι αυτός ο τύπος ανελκυστήρα μπορεί να κινηθεί προς τα κάτω ανοίγοντας απλώς μια βαλβίδα ελέγχου, αυτό είναι που τα κάνει αποτελεσματικά στη χρήση ισχύος.

4.3.1 Μεθοδολογία υπολογισμού απαιτούμενης μηχανικής ισχύος για κάθε διαδρομή

Η ισχύς που καταναλώνει ο υδραυλικός ανελκυστήρας κατά την κίνηση του κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού i , εξαρτάται από τη μάζα του ανελκυστήρα, τη μάζα του φορτίου και το ονομαστικό φορτίο που θα ανυψωθούν και το μέγεθος της ταχύτητας, u , και επιτάχυνσης.

$$P(t) = u(t) * ((P + mload) * g)$$

g επιτάχυνση της βαρύτητας = $9,81 \text{ m/s}^2$

Για τον υπολογισμό της μάζας του φορτίου και του θαλάμου κάθε στιγμή, οι τύποι που χρησιμοποιήθηκαν βασίζονται στο πρότυπο EN ISO 25745-2, όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 4.2.1 για τον ηλεκτροκίνητο ανελκυστήρα.

$$P = 100 + 50 * N = 500 \text{ kg}$$

$$mload = 75 * pass$$

,όπου $pass$ είναι ο αριθμός των ατόμων που βρίσκονται μέσα στον θάλαμο μία συγκεκριμένη στιγμή.

Ο υδραυλικός ανελκυστήρας δεν είναι αναγεννητικός, οπότε όλες οι αρνητικές τιμές της ζήτησης μηχανικής ισχύος, τίθενται στο μηδέν, δηλαδή στην κάτω όριο. Επιπλέον, για απλότητα, η ταχύτητα του υδραυλικού ανελκυστήρα θεωρείται ως σταθερή από όροφο σε όροφο (ονομαστική ταχύτητα), λόγω των χαμηλών ταχυτήτων λειτουργίας.

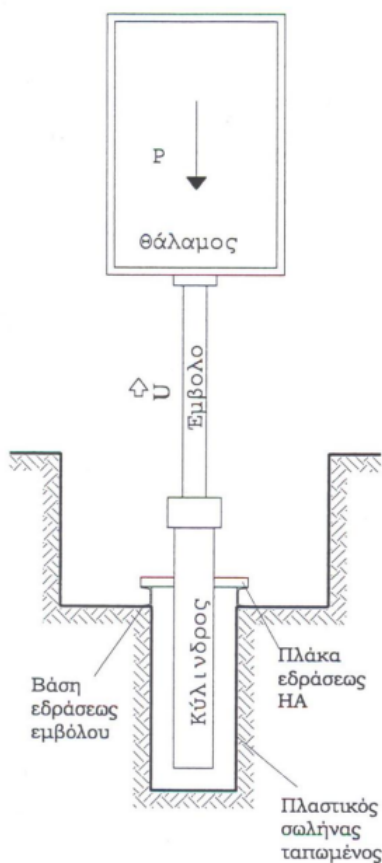
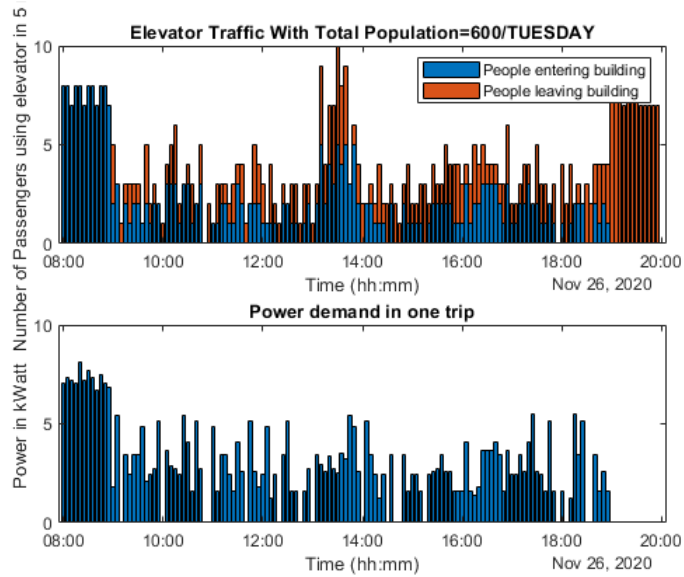


Figure 29: Γεωμετρία συστήματος Υδραυλικού ανελκυστήρα . Πηγή: Μανώλακας Κυριάκος, Περιγραφή τμημάτων υδραυλικού ανελκυστήρα, 2010

Παρακάτω, εμφανίζεται η συνολική ζήτηση της μηχανικής ισχύος σε διαδρομές μετ' επιστροφής που κάνει ο υδραυλικός ανελκυστήρας μία ολόκληρη ημέρα (08:00 έως 20:00) ανά 5 λεπτά . Οι τιμές που εμφανίζονται συμβαδίζουν, σε σχέση με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, διότι στο γράφημα φαίνεται ότι τις ώρες όπου υπάρχει εξερχόμενη κίνηση η απαιτούμενη μηχανική ισχύς είναι μηδέν, γεγονός που επιβεβαιώνεται από την αρχή λειτουργίας των υδραυλικών ανελκυστήρων, εφόσον δεν χρησιμοποιείται ο κινητήρας όταν ο ανελκυστήρας εκτελεί κινήσεις από υψηλότερους σε χαμηλότερους ορόφους.



Τα τελευταία χρόνια, οι κατασκευαστές κινητήρων για ανελκυστήρες έχουν καταλήξει σε τυποποιημένες ισχύεις κινητήρων, οι οποίοι συνήθως συνδυάζονται με τον μέγιστο αριθμό ατόμων που καλείται να εξυπηρετήσει ο θάλαμος. Ωστόσο για μία εγκατάσταση ενός υδραυλικού ανελκυστήρα σε ένα 6 όροφο κτίριο με μέγιστο αριθμό 8 ατόμων είναι $P_{rated}=9 \text{ KWatt}$.

4.4 Ενεργειακή κατανάλωση σε κατάσταση αναμονής

Η ισχύς αναμονής είναι ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει μια συσκευή, όταν δεν χρησιμοποιείται άμεσα, αλλά είναι συνδεδεμένη σε μια πηγή ισχύος και είναι έτοιμη για χρήση. Η κατανάλωση ισχύος σε κατάσταση αναμονής είναι η ποσότητα τέτοιας ισχύος που χρησιμοποιείται ακόμη και αν η αποστράγγιση ισχύος δεν είναι εμφανής. Η ισχύς αναμονής εκφράζεται σε W (Watt). [13]

Η ενεργειακή αποτελεσματικότητα των ανελκυστήρων προκύπτει από άμεσες και έμμεσες αιτίες. Οι άμεσες αιτίες είναι προσανατολισμένες στον εξοπλισμό, που εξαρτάται από τον ενεργειακά αποδοτικό τρόπο του συστήματος που χρησιμοποιείται, ενώ οι έμμεσες αιτίες είναι προσανατολισμένες στη λειτουργία, που εξαρτάται από τη συμπεριφορά των χρηστών και τη διαχείριση της κυκλοφορίας (Energy Efficient Elevators Escalators,ISR- University, 2010). Η ενεργειακή απόδοση στα συστήματα ανελκυστήρων μπορεί να εκτιμηθεί και βελτιστοποιηθεί μελετώντας την απόδοση αυτών των δύο πτυχών. Το παρακάτω σχήμα , δείχνει τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας των ανελκυστήρων.

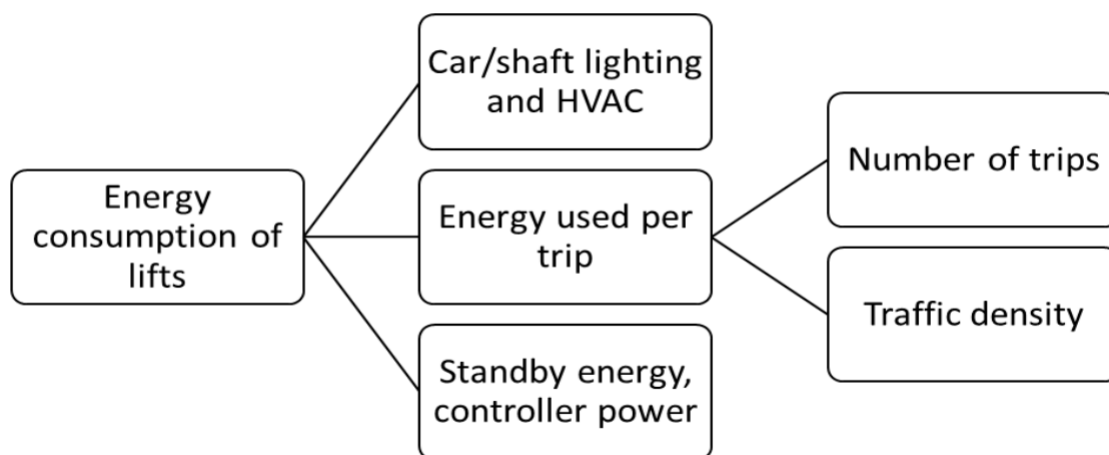


Figure 30: Κύριοι παράγοντες επηρεασμού κατανάλωσης ενέργειας. Πηγή : Energy Efficient Elevators Escalators, ISR-UC, 2010

Στις περισσότερες εγκαταστάσεις ανελκυστήρων, η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος χωρίζεται σε δύο τροφοδότες. Ο διαχωρισμός αναλόγως των στοιχείων που πρέπει να τροφοδοτηθούν μοιράζεται σε κεντρική παροχή και δευτερεύον παροχή . Παρακάτω, εμφανίζεται τι περιλαμβάνουν:

ΠΑΡΟΧΗ	
Κεντρική παροχή	κινητήρας, μετατροπέας και φρένο, πόρτες
Δευτερεύον παροχή	Φωτισμός, ανεμιστήρας εξ-αερισμού αυτοκινήτου, συσκευή συναγερμού και τηλεπαρακολούθηση, τροφοδοσία έκτακτης ανάγκης (μπαταρία)

Με βάση τα παραπάνω η λειτουργία της κάθετης μεταφοράς χωρίζεται σε δύο μέρη: τη κατάσταση κίνησης και τη κατάσταση αναμονής. Για τους περισσότερους τύπους κτιρίων, οι ανελκυστήρες είναι αδρανείς πολύ περισσότερο από ότι κινούνται. Διαπιστώνεται ότι η μέση περίοδος αναμονής είναι τρεις φορές υψηλότερη από τον μέσο χρόνο ταξιδιού για κάθετη μεταφορά (De Almeida, et al., 2012). Για ανελκυστήρες με σχετικά χαμηλή συχνότητα χρήσης (όπως σε κτίρια κατοικιών), το ποσοστό της συνολικής χρήσης ενέργειας που αποδίδεται σε κατάσταση αναμονής μπορεί να ανέρχεται σε περισσότερο από 75% (Nipkow, 2005; Sachs, 2005).

Η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος ανελκυστήρων ποικίλλει ανάλογα με το σχεδιασμό του συστήματος και τον σχετικό βοηθητικό εξοπλισμό. Η Nipkow (2005), έχει εντοπίσει δύο σημαντικούς παράγοντες που μπορούν προκαλεί άσκοπα υψηλή κατανάλωση αναμονής σε ανελκυστήρες, όπως σε συνεχή λειτουργία φώτα καμπίνας και συσκευές κλειδώματος πόρτας. Επιπροσθέτως, παρατηρήθηκε ότι η συσκευή ελέγχου ανελκυστήρων και ο μετατροπέας συχνότητας μπορεί να είναι σημαντικός στην κατανάλωση αναμονής. Άλλα χαρακτηριστικά, όπως η επίδειξη δαπέδου και οι κονσόλες λειτουργίας έχουν σχετικά μικρή επιρροή. Ωστόσο, άλλος εξοπλισμός και συσκευές, όπως εγκαθίστανται οθόνες κλιματισμού, συμβάλλουν στην κατανάλωση σε κατάσταση αναμονής.

4.5 Κατανάλωση ενέργειας σε έναν κύκλο λειτουργίας

Μέσω της ισχύος, που υπολογίστηκε στα παραπάνω κεφάλαια για τον ηλεκτροκίνητο και τον υδραυλικό ανελκυστήρα μπορεί να υπολογιστεί η ενέργεια που καταναλώνει ο κάθε ανελκυστήρας.

Για τον υπολογισμό της ενέργειας που καταναλώνεται θα πρέπει να συμπεριληφθούν και τα διαστήματα αναμονής. Κατά αυτά τα διαστήματα ο κινητήρας δεν καταναλώνει ενέργεια, όμως θα μελετηθούν ξεχωριστά τα βοηθητικά φορτία της εγκατάστασης (βλέπε Κεφάλαιο 4.4), όπως ο φωτισμός του θαλάμου, της κονσόλας κ.τ.λ. Στην ετήσια κατανάλωση θα συνυπολογιστούν οι καταναλώσεις των βοηθητικών στοιχείων (Pstdby, Estdby).

Για τον συγκεκριμένο υπολογισμό λήφθηκε υπόψιν η κίνηση του ανελκυστήρα αφού δεν αποτελεί μία ομαλή κίνηση αλλά έχει μορφή τραπεζοειδούς προφίλ και έτσι λαμβάνουμε διαφορετικά χρονικά διαστήματα όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 4.1 και φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.

$$E_{cycle} = P * t_{cycle}$$

,όπου t_{cycle} είναι ο συνολικός χρόνος που έκανε σε μία διαδρομή μετ'επιστροφής.

Όπως μελετήθηκε στο Κεφάλαιο 4.1.1 το προφίλ κίνησης του ανελκυστήρα δεν αποτελεί μία ομαλή κίνηση, αλλά έχει μορφή τραπεζοειδούς. Ός αποτέλεσμα, λαμβάνουμε διαφορετικά χρονικά διαστήματα κατά την επιτάχυνση, την επιβράδυνση καθώς και την μέγιστη ταχύτητα του ανελκυστήρα. Ο χρόνος που επιταχύνει ο ανελκυστήρας ορίζεται σε:

$$t_a = 2sec$$

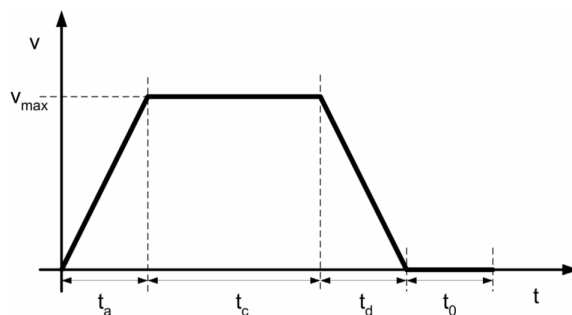


Figure 31: Τυπικό τραπεζοειδές προφίλ ταχύτητας. Πηγή : Παπαιωαχείμ Παντελεήμων , Οικονομοτεχνική μελέτη ανελκυστήρων, 2012

Οπότε, βάσει της ισχύος, όπως υπολογίστηκε στα Κεφάλαια 4.2.1 για τον ηλεκτροκίνητο ανελκυστήρα και 4.3.1 για τον υδραυλικό ανελκυστήρα, η ενέργεια που προκύπτει είναι:

$$E1 = \int P1 dt = F1 \int u dt = F1 * 1/2 * u * 2 = u * F1$$

Όταν ο ανελκυστήρας κινείται με σταθερή ταχύτητα σύμφωνα με το τραπεζοειδές προφίλ κινήσεως, ισχύει:

$$E2 = \int P2 dt = F2 \int u dt = F2 * u * t2$$

Για τον υπολογισμό της τιμής t2 θα πρέπει πρώτα να υπολογίσουμε την απόσταση d2, όπου ισχύει: :

$$d2 = d - (d1 + d3)$$

, όπου d είναι η συνολική απόσταση από όροφο σε όροφο,

d1 η απόσταση όπου έχουμε επιτάχυνση

d3 η απόσταση που έχουμε επιβράδυνση και υπολογίζονται:

$$d1 = d3 = u * ta$$

,ta=2sec.Έτσι

$$t2 = d2/u$$

Στην περίπτωση της επιβράδυνσης, ισχύει για t3 = 2sec, οπότε η ενέργεια υπολογίζεται:

$$E3 = \int P3 dt = F1 \int u dt = F3 * 1/2 * u * 2 = u * F3$$

,όπου u είναι η ταχύτητα του ανελκυστήρα που είναι τοποθετημένος (u=0.6 m/s για τον υδραυλικό , u=0.9m/s για τον μηχανικό).

Εάν, η συνολική ενέργεια έχει αρνητική τιμή σημαίνει πως αποδίδει ενέργεια στο σύστημα, ενώ σε περίπτωση θετικής τιμής σημαίνει κατανάλωση ενέργειας. Ένας υδραυλικός ανελκυστήρας δεν έχει αρνητική μορφή, διότι δεν αποτελεί αναγεννητική μορφή ανελκυστήρα. Ένας ηλεκτροκίνητος ανελκυστήρας εμφανίζει αρνητικές τιμές όταν ο ανελκυστήρας “κατεβαίνει” με γεμάτο φορτίο, ή “ανεβαίνει” άδειος.

Τέλος, υπολογίζεται η συνολική ενέργεια, βάσει των μηχανικών και ηλεκτρικών απωλειών. Για κάθε διαδρομή από χαμηλότερους σε υψηλότερους ορόφους οι μηχανικές απώλειες είναι 25% και οι ηλεκτρικές απώλειες 15 % όπως φαίνεται παρακάτω :

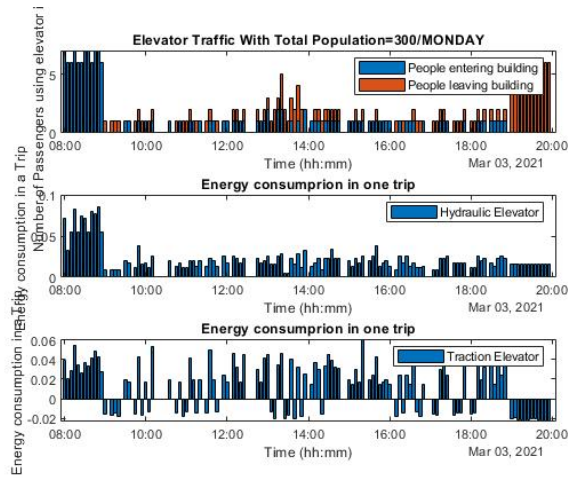
$$E = E/0,75 * 1,15$$

Σε κάθε διαδρομή από υψηλότερους σε χαμηλότερους ορόφους, οι μηχανικές απώλειες είναι 15% και οι ηλεκτρικές απώλειες 25 % όπως φαίνεται παρακάτω :

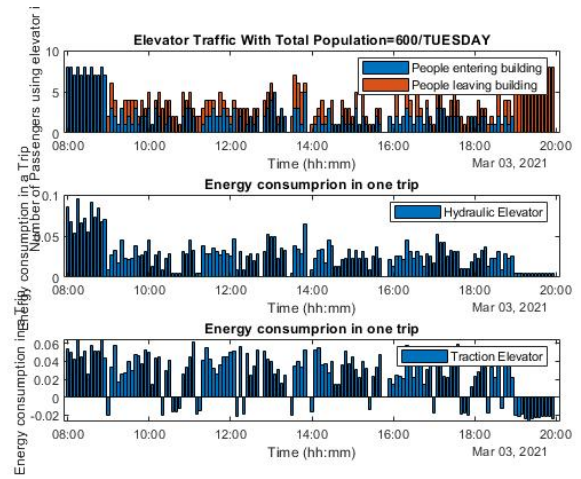
$$E = E * 0,85 * 0,75$$

Στην περίπτωση όπου ο ανελκυστήρας κάνει μία διαδρομή στους κάτω ορόφους τότε για τον υπολογισμό της ενέργειας ισχύουν οι παραπάνω τύποι ωστόσο το πρόσημο της ταχύτητας είναι αρνητικό.

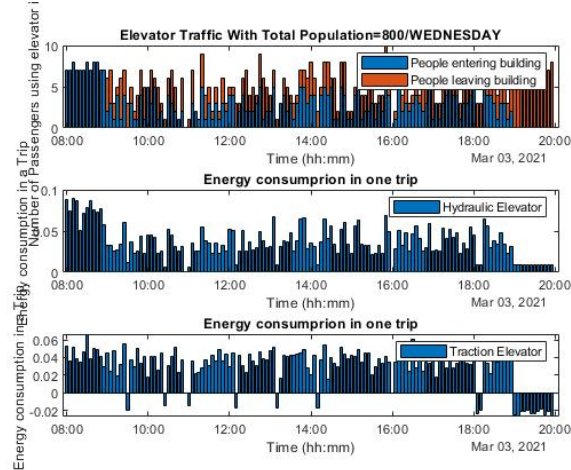
Στα παρακάτω γραφήματα φαίνεται η κατανάλωση ενέργειας ανά διαδρομή ανάλογα την ημέρα και τον συνολικό εισερχόμενο πληθυσμό.



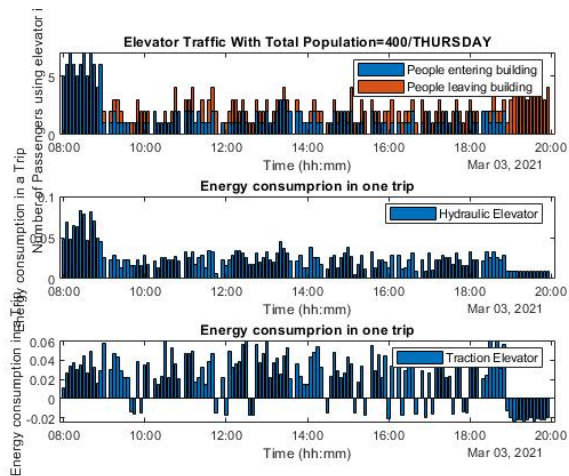
(a) Δευτέρα.



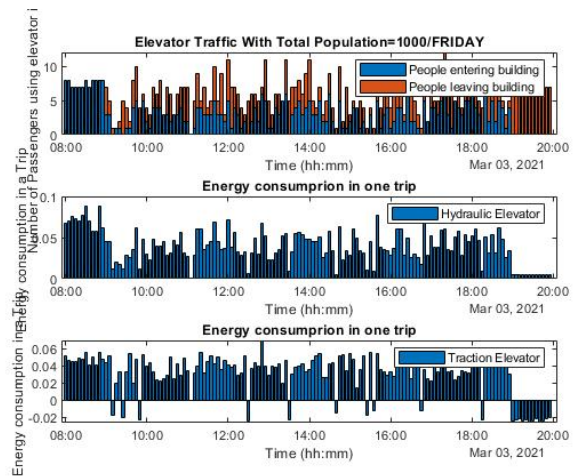
(b) Τρίτη.



(c) Τετάρτη.



(a) Πέμπτη.



(b) Παρασκευή.

Επίσης στους παρακάτω πίνακες φαίνονται κάποια συνολικά στατιστικά στοιχεία μίας τυχαίας εβδομάδας.

ΗΜΕΡΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΑΤΟΜΑ ΠΟΥ ΕΙΣΕΡΧΟΝΤΑΙ	ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΤΑΞΙΔΙΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΝΕΙ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΕΙ
ΔΕΥΤΕΡΑ	300	317	1.0975	1.74366	-0.64616
ΤΡΙΤΗ	600	570	3.8385	4.36133	-0.52283
ΤΕΤΑΡΤΗ	800	797	4.9002	5.26961	-0.36941
ΠΕΜΠΤΗ	400	380	2.819	3.35074	-0.53174
ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	1000	976	5.3964	5.78367	-0.38272

ΗΜΕΡΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΑΤΟΜΑ ΠΟΥ ΕΙΣΕΡΧΟΝΤΑΙ	ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΤΑΞΙΔΙΑ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΝΕΙ
ΔΕΥΤΕΡΑ	300	317	2.9576
ΤΡΙΤΗ	600	570	4.634
ΤΕΤΑΡΤΗ	800	797	5.8076
ΠΕΜΠΤΗ	400	380	3.963
ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	1000	976	6.8395

4.6 Παραδείγματα Μοντέλων

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο εξετάζονται συγκεκριμένα λεπτά της ημέρας των αποτελεσμάτων, τα οποία παρουσιάζουν ενδιαφέρον, λόγω έντονης χρήσης, τόσο στον ηλεκτροκίνητο ανελκυστήρα, όσο και στον υδραυλικό ανελκυστήρα.

4.6.1 Παραδείγματα Μοντέλων Υδραυλικού Ανελκυστήρα

- Ός πρώτο δρομολόγιο θα λάβουμε το 5 λεπτο 8:00 έως 8:05 το πρωί, όπου ο κινητήρας έχει την μέγιστη κατανάλωση ενέργειας εφόσον ανεβαίνει στους ορόφους με ένα πλήρες φορτίο. Η πρώτη διαδρομή θα καταναλώσει την περισσότερη ενέργεια, διότι η κίνηση ξεκινάει με πλήρες φορτίο και όσο ανεβαίνει σε υψηλότερους ορόφους το φορτίο μειώνεται, εφόσον ο κόσμος εξέρχεται και η ενέργεια μειώνεται ανάλογα. Παρακάτω, φαίνεται μία τυχαία διαδρομή που κάνει ο ανελκυστήρας στις 8 το πρωί αλλά και η κατανάλωση του σε κάθε κίνηση από έναν πίνακα αντίστοιχα.

```
final_str =  
"/Gnd 8 in/1 floor - 2 out /2 floor - 2 out /3 floor - 2 out /4 floor - 1 out /5 floor - 1 out /Gnd 0 out"
```

t(sec)	Ενέργεια (kWh)
08:00:10	0.021155
08:00:20	0.016379
08:00:30	0.014004
08:00:40	0.013628
08:00:50	0.013440

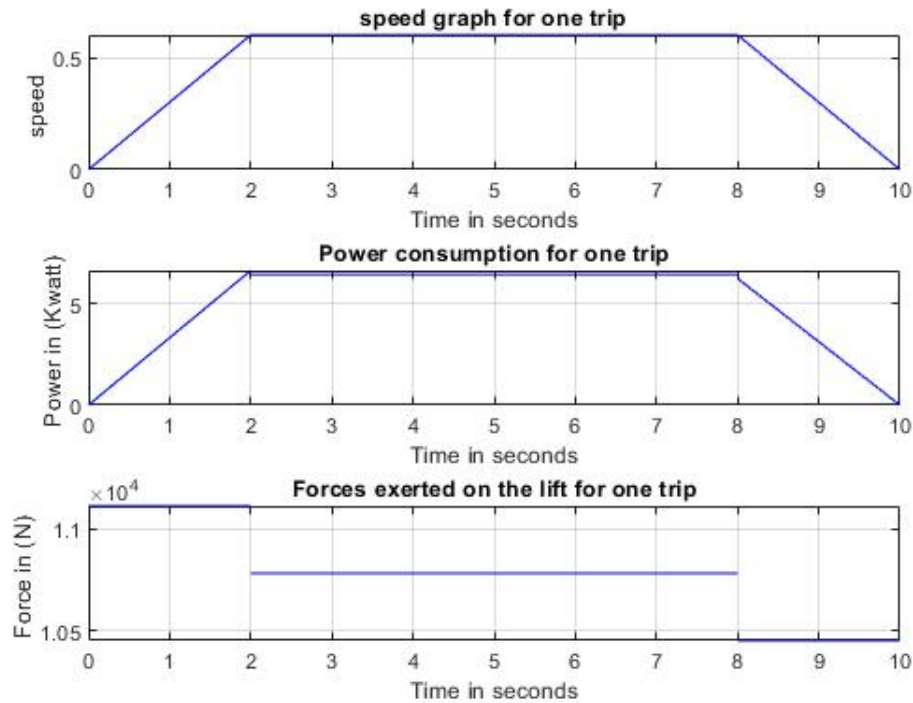
Συνολική κατανάλωση ενέργειας : 0.078606 kwh ανά διαδρομή

Τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα προήλθαν από μία αλληλουχία πράξεων που έγιναν για κάθε ξεχωριστή κίνηση του ανελκυστήρα. Παρακάτω, εμφανίζεται ο τρόπος με τον οποίο αναλύθηκε η κάθε διαδρομή και κατέληξε το συγκεκριμένο αριθμητικό αποτέλεσμα.

Αρχικά για την διαδρομή που έγινε στις 8:00 το πρωί από το ισόγειο στον πρώτο όροφο λαμβάνουμε ως δεδομένο ότι εισήλθαν 8 άτομα στον ανελκυστήρα και άρα έχουμε το μέγιστο δυνατό φορτίο.

Παραπάνω αναλύθηκε ο τρόπος υπολογισμού την ταχύτητας αλλά και της ισχύος της καθεμίας διαδρομής με βάση τον τύπο όπου έχει αναρτηθεί στο επιστημονικό άρθρο (Modeling the aggregated power consumption of elevators).Εφόσον έχουμε στον ανελκυστήρα 8 άτομα άρα 600kg (8*75kg) τότε λαμβάνοντας τον παραπάνω τύπο υπολογισμού της ισχύος και με βάση την δύναμη που ασκείται στον ανελκυστήρα με τον παρακάτω τύπο τα θα έχουμε για κάθε χρονική στιγμή τα παρακάτω αποτελέσματα .

$$F = ((P + mload) * (g + a))$$



Αφού λάβουμε τα παραπάνω γραφήματα για τον υπολογισμό της ενέργειας του ανελκυστήρα θα κάνουμε τους παρακάτω μαθηματικούς υπολογισμούς: Οι τιμές της δύναμης που ασκείται στον ανελκυστήρα κάθε χρονική στιγμή φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Διαστήματα Χρόνου(sec)	Δύναμη (N)
08:00:00-08:00:02	11110 N
08:00:02-08:00:08	10780 N
08:00:08-08:00:10	10450 N

Άρα με βάση τις παραπάνω αριθμητικές τιμές της δύναμης θα λάβουμε τα παρακάτω αριθμητικά αποτελέσματα για την ενέργεια με βάση τους παρακάτω μαθηματικούς τύπους:

$$E1 = \int P1 dt = F1 \int u dt = F1 * 1/2 * 0.6 * 2 = 0.6 * F1 = 6666J(Watt * sec)$$

$$E2 = \int P2 dt = F2 \int u dt = F2 * 0.6 * t2 = 51744J(Watt * sec)$$

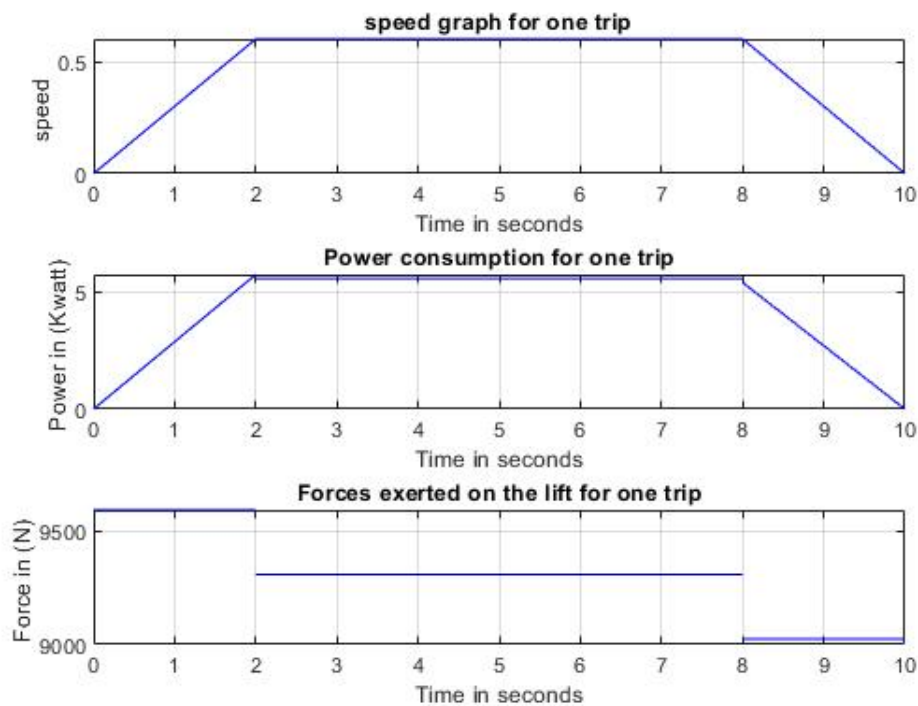
$$E3 = \int P1 dt = F3 \int u dt = F3 * 1/2 * 0.6 * 2 = 0.6 * F3 = 67590J(Watt * sec)$$

Τέλος αφού προσθέσουμε τις παραπάνω τιμές της ενέργειας πολλαπλασιάζοντας και τις μηχανικές και ηλεκτρικές απώλειες καταλήγουμε στην τελική τιμή της ενέργειας ,όπως φαίνεται και στον πρώτο πίνακα:

$$Eh = (Eh + Eh1 + Eh2)/3600(Wh)$$

$$Eh = ((Eh/1000)/0.75) * 1.15 = 0.021155kWh$$

Ακριβώς με τον ίδιο τρόπο θα υπολογιστούν και οι επόμενες αριθμητικές τιμές της ενέργειας. Παρακάτω παρατίθεται τα γραφήματα της δεύτερης τιμής της υδραυλικής ενέργειας όπου θα βρίσκονται στον ανελκυστήρα 6 άτομα δηλαδή 450kg (6*75 kg) και θα κάνουν την διαδρομή από τον πρώτο όροφο στον δεύτερο με αποτέλεσμα $Eh = 0.016379 kWh$ όπως φάνηκε και στον παραπάνω πίνακα προσθέτοντας και τις μηχανικές και ηλεκτρικές απώλειες.



Διαστήματα Χρόνου(sec)	Δύναμη (N)
08:00:10-08:00:12	9595 N
08:00:12-08:00:18	9310 N
08:00:18-08:00:20	9025 N

Άρα με βάση τις παραπάνω αριθμητικές τιμές της δύναμης θα λάβουμε τα παρακάτω αριθμητικά αποτελέσματα για την ενέργεια με βάση τους παρακάτω μαθηματικούς τύπους:

$$E1 = \int P1 dt = F1 \int u dt = F1 * 1/2 * 0.6 * 2 = 0.6 * F1 = 5757J(Watt * sec)$$

$$E2 = \int P2 dt = F2 \int u dt = F2 * 0.6 * t2 = 44688J(Watt * sec)$$

$$E3 = \int P1 dt = F3 \int u dt = F3 * 1/2 * 0.6 * 2 = 0.6 * F3 = 5415J(Watt * sec)$$

Τέλος αφού προσθέσουμε τις παραπάνω τιμές της ενέργειας πολλαπλασιάζοντας και τις μηχανικές και ηλεκτρικές απώλειες καταλήγουμε στην τελική τιμή της ενέργειας ,όπως φαίνεται και στον πρώτο πίνακα:

$$Eh = (Eh + Eh1 + Eh2)/3600(Wh)$$

$$Eh = ((Eh/1000)/0.75) * 1.15 = 0.016379kWh$$

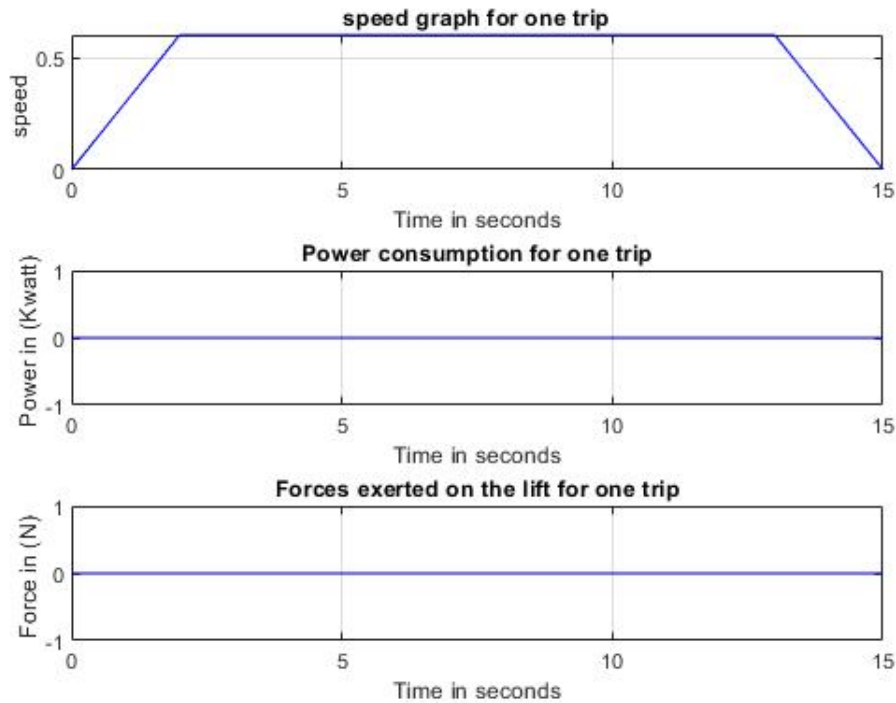
- Το δεύτερο δρομολόγιο που θα παρατηρηθεί για το μοντέλο του υδραυλικού ανελκυστήρα είναι το τελευταίο 5 λεπτό της προσομοίωσης, όπου οι εργαζόμενοι θα εξέλθουν από το κτίριο και η κίνηση του ανελκυστήρα είναι από έναν υψηλότερο όροφο προς τον χαμηλότερο όροφο με ενδιάμεσες στάσεις. Το συγκεκριμένο μοντέλο καταναλώνει ενέργεια μόνο κατά τη μεταβίβαση από χαμηλότερο προς υψηλότερο όροφο και καθόλου κατά την κάθοδο.

```
final_str =
"/Gnd 0 in // /5 floor - 1 in /3 floor - 2 in /2 floor - 3 in /1 floor - 2 in /Gnd 8 out"
```

t(sec)	Ενέργεια (kWh)
19:50:30	0.016252
19:50:45	0
19:50:55	0
19:51:05	0
19:51:15	0

Συνολική κατανάλωση ενέργειας : 0.016252 kwh ανά διαδρομή

Παρακάτω, εμφανίζεται μία από τις διαδρομές που κάνει ο ανελκυστήρας στους κάτω ορόφους. Ο υδραυλικός ανελκυστήρας δεν είναι αναγεννητικός και έτσι στην κάθοδο δεν καταναλώνει καθόλου ενέργεια όπως φαίνεται στα παρακάτω γραφήματα, αλλά και στον παραπάνω πίνακα για τις διαδρομές από τον 5ο στον 3ο όροφο, από τον 3ο στον 2ο όροφο ,από τον 2ο στον 1ο όροφο και από τον 1ο στο ισόγειο.



Διαστήματα Χρόνου(sec)	Δύναμη (N)
19:50:30-19:50:32	0 N
19:50:32-19:43:	0 N
19:50:43-19:50:45	0 N

Άρα με βάση τις παραπάνω αριθμητικές τιμές της δύναμης θα λάβουμε τα παρακάτω αριθμητικά αποτελέσματα για την ενέργεια με βάση τους παρακάτω μαθηματικούς τύπους:

$$E1 = \int P1 dt = F1 \int u dt = F1 * 1/2 * 0.6 * 2 = 0.6 * F1 = 0J(Watt * sec)$$

$$E2 = \int P2 dt = F2 \int u dt = F2 * 0.6 * t2 = 0J(Watt * sec)$$

$$E3 = \int P1 dt = F3 \int u dt = F3 * 1/2 * 0.6 * 2 = 0.6 * F3 = 0J(Watt * sec)$$

Τέλος αφού προσθέσουμε τις παραπάνω τιμές της ενέργειας πολλαπλασιάζοντας και τις μηχανικές και ηλεκτρικές απώλειες καταλήγουμε στην τελική τιμή της ενέργειας ,όπως φαίνεται και στον πρώτο πίνακα:

$$Eh = (Eh + Eh1 + Eh2)/3600(Wh)$$

$$Eh = ((Eh/1000)/0.75) * 1.15 = 0kWh$$

- Τέλος, μελετάται ένα τυχαίο δρομολόγιο κατά τη διάρκεια της ημέρας, κατά το οποίο ο υδραυλικός ανελκυστήρας εκτελεί 2 κινήσεις σε υψηλούς ορόφους και 3 κινήσεις σε χαμηλούς τυχαία. Βάσει των παρακάτω γραφημάτων, επιβεβαιώνεται πως ο υδραυλικός ανελκυστήρας δεν καταναλώνει ενέργεια κατά την κάθοδο παρά μόνο σε κίνηση προς υψηλότερο όροφο από τον οποίο βρίσκεται.

```
final_str =
    "/Gnd 3 in/3 floor - 1 out /5 floor - 2 out  // /4 floor - 2 in /2 floor - 1 in /Gnd 3 out"
```

t(sec)	Ενέργεια (kWh)
11:00:20	0.020216
11:00:35	0.015628
11:00:42	0
11:00:57	0
11:01:12	0

Συνολική κατανάλωση ενέργειας : 0.035844 kwh ανά διαδρομή

4.6.2 Παραδείγματα Μοντέλων Μηχανικού Ανελκυστήρα

- Ός πρώτο δρομολόγιο θα λάβουμε το 5 λεπτο 8:00 έως 8:05 το πρωί, όπου ο κινητήρας έχει την μέγιστη κατανάλωση ενέργειας εφόσον ανεβαίνει στους ορόφους με ένα πλήρες φορτίο. Η πρώτη διαδρομή θα καταναλώσει την περισσότερη ενέργεια, διότι η κίνηση ξεκινάει με πλήρες φορτίο και όσο ανεβαίνει σε υψηλότερους ορόφους το φορτίο μειώνεται ,εφόσον ο κόσμος εξέρχεται και η ενέργεια μειώνεται ανάλογα. Παρακάτω, φαίνεται μία τυχαία διαδρομή που κάνει ο ανελκυστήρας στις 8 το πρωί αλλά και η κατανάλωση του σε κάθε κίνηση από έναν πίνακα αντίστοιχα.

```
final_str =  
"/Gnd 8 in/1 floor - 2 out /2 floor - 2 out /3 floor - 2 out /4 floor - 2 out /Gnd 0 out"
```

t(sec)	Ενέργεια (kWh)
08:00:10	0.016755
08:00:20	0.012842
08:00:30	0.01000
08:00:40	0.0082324

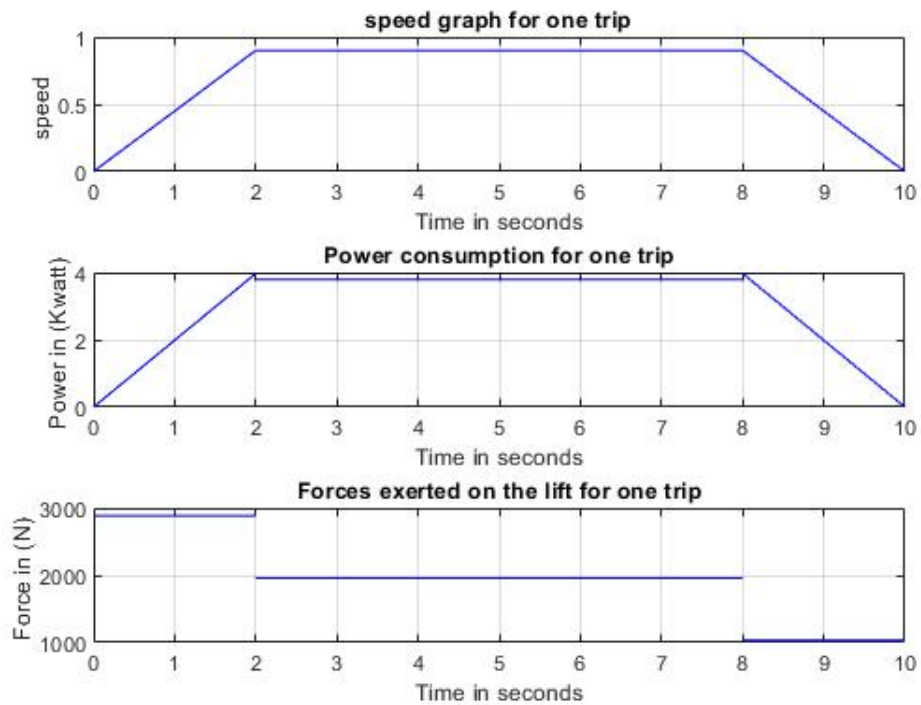
Συνολική κατανάλωση ενέργειας : 0.047829 kwh ανά διαδρομή

Όλα τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα προήλθαν από μία αλληλουχία πράξεων που έγιναν για κάθε ξεχωριστή διαδρομή .Παρακάτω φαίνεται αναλυτικά ο τρόπος με τον οποίο αναλύθηκε η κάθε διαδρομή και πώς βγήκε το συγκεκριμένο αριθμητικό αποτέλεσμα.

Αρχικά για την διαδρομή που έγινε στις 8:00 το πρωί από το ισόγειο στον πρώτο όροφο λαμβάνουμε ως δεδομένο ότι εισήλθαν 8 άτομα στον ανελκυστήρα και άρα έχουμε το μέγιστο δυνατό φορτίο.

Παραπάνω αναλύθηκε ο τρόπος υπολογισμού την ταχύτητας αλλά και της ισχύος της καθεμίας διαδρομής με βάση τον τύπο όπου έχει αναρτηθεί στο επιστημονικό άρθρο (Modeling the aggregated power consumption of elevators).Εφόσον έχουμε στον ανελκυστήρα 8 άτομα άρα 600kg (8*75kg) τότε λαμβάνοντας τον παραπάνω τύπο υπολογισμού της ισχύος και με βάση την δύναμη που ασκείται στον ανελκυστήρα με τον παρακάτω τύπο τα θα έχουμε για κάθε χρονική στιγμή τα παρακάτω αποτελέσματα .

$$F = ((Cjm + mload + 2 * P + K * Q) * a(t) + g * (mload - K * Q))$$



Αφού λάβουμε τα παραπάνω γραφήματα για τον υπολογισμό της ενέργειας του ανελκυστήρα θα κάνουμε τους παρακάτω μαθηματικούς υπολογισμούς: Οι τιμές της δύναμης που ασκείται στον ανελκυστήρα κάθε χρονική στιγμή φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Διαστήματα Χρόνου(sec)	Δύναμη (N)
08:00:00-08:00:02	2885.2 N
08:00:02-08:00:08	1960 N
08:00:08-08:00:10	1034.8 N

Άρα με βάση τις παραπάνω αριθμητικές τιμές της δύναμης θα λάβουμε τα παρακάτω αριθμητικά αποτελέσματα για την ενέργεια με βάση τους παρακάτω μαθηματικούς τύπους:

$$E1 = \int P1 dt = F1 \int u dt = F1 * 1/2 * 0.6 * 2 = 0.9 * F1 = 2598J(Watt * sec)$$

$$E2 = \int P2 dt = F2 \int u dt = F2 * 0.9 * t2 = 14113J(Watt * sec)$$

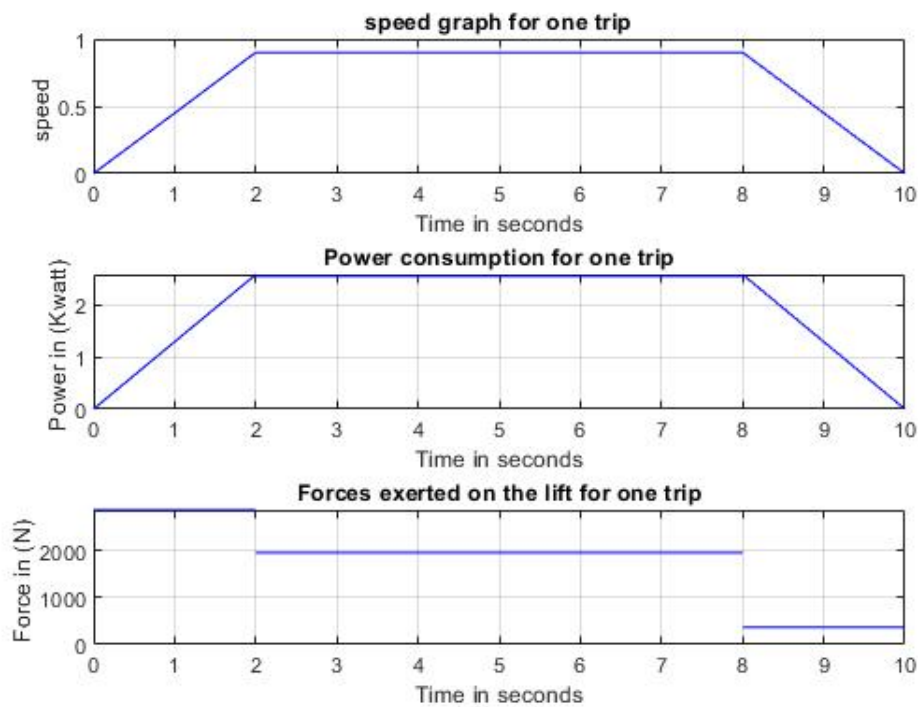
$$E3 = \int P1 dt = F3 \int u dt = F3 * 1/2 * 0.9 * 2 = 0.6 * F3 = 931J(Watt * sec)$$

Τέλος αφού προσθέσουμε τις παραπάνω τιμές της ενέργειας πολλαπλασιάζοντας και τις μηχανικές και ηλεκτρικές απώλειες καταλήγουμε στην τελική τιμή της ενέργειας ,όπως φαίνεται και στον πρώτο πίνακα:

$$Em = (E1 + E2 + E3)/3600(Wh)$$

$$Em = ((Em/1000)/0.75) * 1.15 = 0.016755kWh$$

Ακριβώς με τον ίδιο τρόπο θα υπολογιστούν και οι επόμενες αριθμητικές τιμές της ενέργειας. Παρακάτω παρατίθεται τα γραφήματα της δεύτερης τιμής της υδραυλικής ενέργειας όπου θα βρίσκονται στον ανελκυστήρα 6 άτομα δηλαδή 450kg (6*75 kg) και θα κάνουν την διαδρομή από τον πρώτο όροφο στον δεύτερο με αποτέλεσμα $Em = 0.012842 kWh$ όπως φάνηκε και στον παραπάνω πίνακα προσθέτοντας και τις μηχανικές και ηλεκτρικές απώλειες.



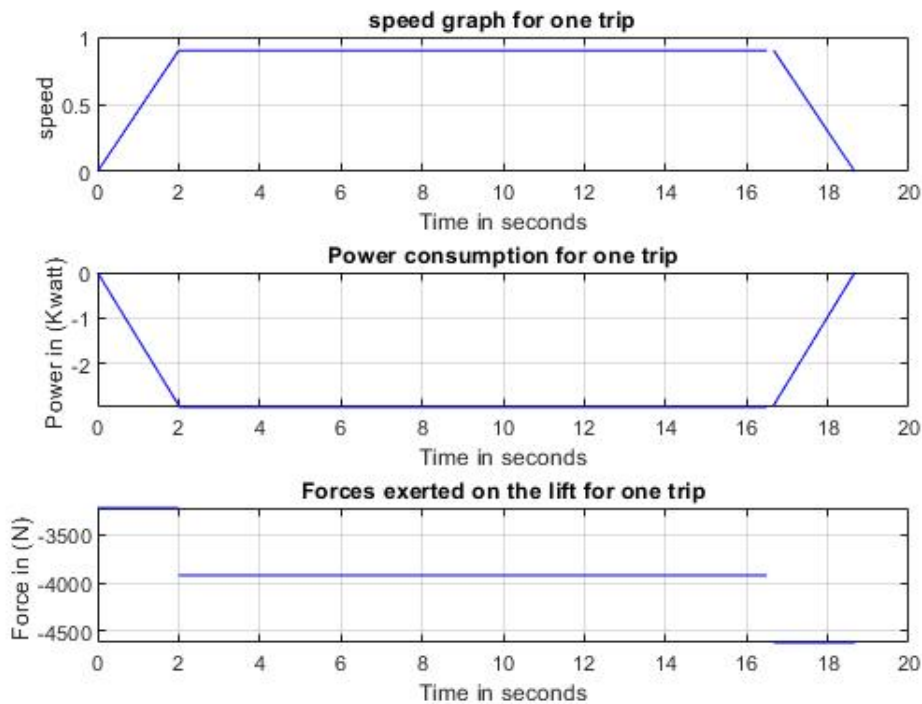
- Το δεύτερο δρομολόγιο που θα παρατηρηθεί για το μοντέλο του υμηχανικού ανελκυστήρα είναι το τελευταίο 5 λεπτο της προσομοίωσης, όπου οι εργαζόμενοι θα εξέλθουν από το κτίριο και η κίνηση του ανελκυστήρα είναι από έναν υψηλότερο όροφο προς τον χαμηλότερο όροφο με ενδιαμέσες στάσεις. Το συγκεκριμένο μοντέλο καταναλώνει ενέργεια, όταν ο ανελκυστήρας βρίσκεται σε ενδιαμέσο όροφο, ενώ παράγει ενέργεια στην πρώτη διαδρομή, λόγω κίνησης σε υψηλότερο όροφο με μηδενικό αριθμό επιβατών (φορτίο) καθώς και στην τελευταία διαδρομή, διότι κινείται σε χαμηλότερο όροφο με το μέγιστο φορτίο.

```
final_str =
"/Gnd 0 in // /5 floor - 1 in /4 floor - 3 in /1 floor - 4 in /Gnd 8 out"
```

t(sec)	Energy (kWh)
19:50:19	-0.025517
19:50:28	0.012818
19:50:49	0.01000
19:50:57	-0.021543

Συνολική κατανάλωση ενέργειας : -0.024242 kwh ανά διαδρομή

Παρακάτω φαίνεται μία από τις διαδρομές που κάνει ο ανελκυστήρας στους κάτω ορόφους. Γνωρίζουμε ότι ο μηχανικός ανελκυστήρας είναι αναγεννητικός και έτσι υπάρχουν 2 περιπτώσεις όπου δημιουργείται πέδηση του κινητήρα και έτσι έχουμε παραγωγή ενέργειας. Οι δύο αυτές περιπτώσεις είναι όταν ανεβαίνει άδεια στους πάνω ορόφους αλλά και όταν κατεβαίνει στους κάτω ορόφους με το μέγιστο φορτίο. Οι συγκεκριμένες περιπτώσεις φαίνονται στα παρακάτω γραφήματα αφού έχουμε λάβει ως πρώτη διαδρομή την διαδρομή από το ισόγειο στον 5 όροφο όπου ο ανελκυστήρας ανεβαίνει με μηδενικό φορτίο και έτσι έχουμε αρνητική ροπή (πέδηση του κινητήρα).



Διαστήματα Χρόνου(sec)	Δύναμη (N)
19:50:00-19:50:02	-3222.5 N
19:50:02-19:50:17	-3920 N
19:50:17-19:50:19	-4617.5 N

Άρα με βάση τις παραπάνω αριθμητικές τιμές της δύναμης θα λάβουμε τα παρακάτω αριθμητικά αποτελέσματα για την ενέργεια με βάση τους παρακάτω μαθηματικούς τύπους:

$$E1 = \int P1 dt = F1 \int u dt = F1 * 1/2 * 0.9 * 2 = 0.9 * F1 = -2900J(Watt * sec)$$

$$E2 = \int P2 dt = F2 \int u dt = F2 * 0.9 * t2 = -58800J(Watt * sec)$$

$$E3 = \int P1 dt = F3 \int u dt = F3 * 1/2 * 0.9 * 2 = 0.9 * F3 = -4155J(Watt * sec)$$

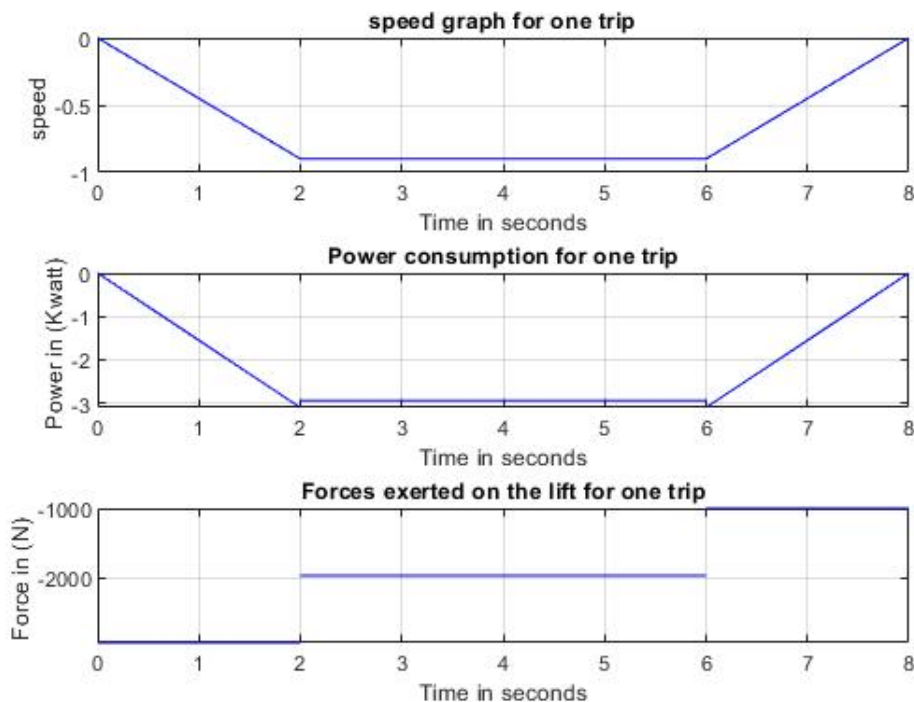
Τέλος αφού προσθέσουμε τις παραπάνω τιμές της ενέργειας πολλαπλασιάζοντας και τις μηχανικές και ηλεκτρικές απώλειες καταλήγουμε στην τελική τιμή της ενέργειας ,όπως φαίνεται και στον πρώτο πίνακα:

$$Em = (E1 + E2 + E3)/3600(Wh)$$

$$Em = ((Em/1000) * 0.75) * 1.15 = -0.024242kWh$$

Από τα παραπάνω γραφήματα υπολογίζεται η ενέργεια στις περιοχές της επιτάχυνσης, σταθερής ταχύτητας και επιβράδυνσης, οι οποίες προστιθέμενες καταλήγουν στο αποτέλεσμα $Em = -0,02517$ KWh, όπως εμφανίζεται στον παραπάνω πίνακα προσθέτοντας και τις μηχανικές και ηλεκτρικές απώλειες.

Μία ακόμα περίπτωση που παρατηρούμε πέδηση του κινητήρα είναι η τελευταία περίπτωση του παραπάνω πίνακα που ο ανελκυστήρας κάνει ένα δρομολόγιο από τον πρώτο όροφο στο ισόγειο με το μέγιστο φορτίο.



Παρακάτω φαίνεται μία από τις διαδρομές που κάνει ο ανελκυστήρας στους κάτω ορόφους. Γνωρίζουμε ότι ο μηχανικός ανελκυστήρας είναι αναγεννητικός και έτσι υπάρχουν 2 περιπτώσεις όπου δημιουργείται πέδηση του κινητήρα και έτσι έχουμε παραγωγή ενέργειας. Οι δύο αυτές περιπτώσεις είναι όταν ανεβαίνει άδειο στους πάνω ορόφους αλλά και όταν κατεβαίνει στους κάτω ορόφους με το μέγιστο φορτίο. Οι συγκεκριμένες περιπτώσεις φαίνονται στα παρακάτω γραφήματα αφού έχουμε λάβει ως πρώτη διαδρομή την διαδρομή από το ισόγειο στον 5 όροφο όπου ο ανελκυστήρας ανεβαίνει με μηδενικό φορτίο και έτσι έχουμε αρνητική ροπή (πέδηση του κινητήρα).

Διαστήματα Χρόνου(sec)	Δύναμη (N)
19:50:00-19:50:02	-2927.5 N
19:50:02-19:50:24	-1960 N
19:50:24-19:50:26	-992.5 N

Άρα με βάση τις παραπάνω αριθμητικές τιμές της δύναμης θα λάβουμε τα παρακάτω αριθμητικά αποτελέσματα για την ενέργεια με βάση τους παρακάτω μαθηματικούς τύπους:

$$E1 = \int P1 dt = F1 \int u dt = F1 * 1/2 * 0.9 * 2 = 0.9 * F1 = 894J(Watt * sec)$$

$$E2 = \int P2 dt = F2 \int u dt = F2 * 0.9 * t2 = 10585J(Watt * sec)$$

$$E3 = \int P1 dt = F3 \int u dt = F3 * 1/2 * 0.9 * 2 = 0.9 * F3 = -2635J(Watt * sec)$$

Τέλος αφού προσθέσουμε τις παραπάνω τιμές της ενέργειας πολλαπλασιάζοντας και τις μηχανικές και ηλεκτρικές απώλειες καταλήγουμε στην τελική τιμή της ενέργειας ,όπως φαίνεται και στον πρώτο πίνακα:

$$Em = (E1 + E2 + E3)/3600(Wh)$$

$$Em = ((Em/1000) * 0.75) * 1.15 = -0.021543kWh$$

Από τα παραπάνω γραφήματα υπολογίζεται η ενέργεια στις περιοχές της επιτάχυνσης, σταθερής ταχύτητας και επιβράδυνσης, οι οποίες προστιθέμενες καταλήγουν στο αποτέλεσμα $Em = -0,021543$ KWh, όπως εμφανίζεται στον παραπάνω πίνακα προσθέτοντας και τις μηχανικές και ηλεκτρικές απώλειες.

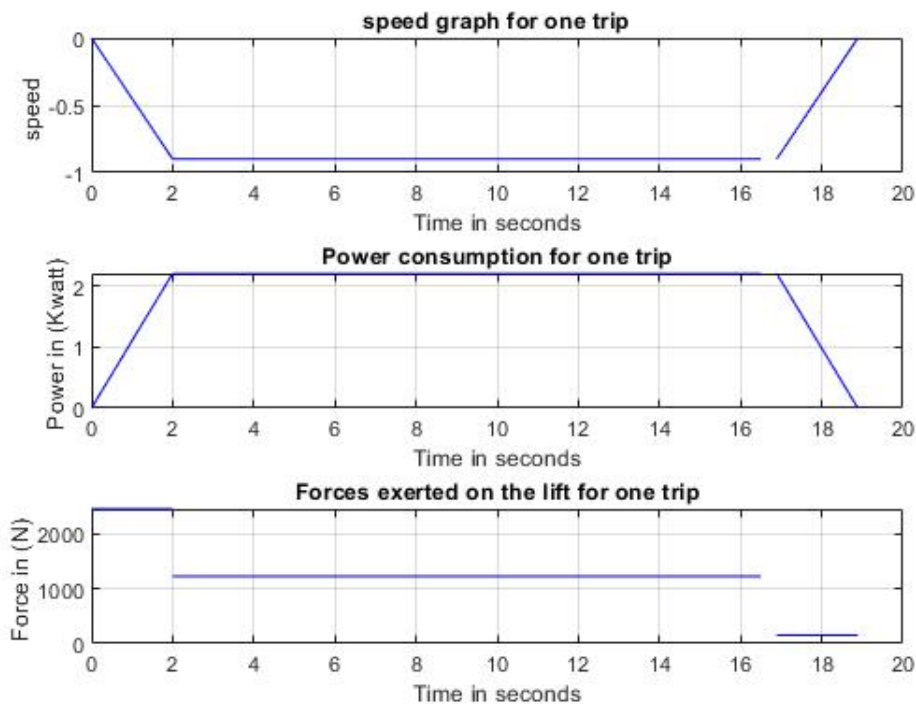
- Τέλος, μελετάται ένα τυχαίο δρομολόγιο κατά τη διάρκεια της ημέρας, κατά το οποίο ο μηχανικός ανελκυστήρας εκτελεί 2 κινήσεις σε υψηλούς ορόφους και 1 κίνηση σε χαμηλότερο όροφο τυχαία. Βάσει των παρακάτω γραφημάτων , επιβεβαιώνεται πως ο μηχανικός ανελκυστήρας καταναλώνει ενέργεια κατά την άνοδο του από το ισόγειο, λόγω ενός επιβάτη, αλλά κατά την έξοδο του επιβάτη και τη συνέχιση της διαδρομής, του παράγει ενέργεια λόγω ανοδικής κίνησης χωρίς φορτίο. Τέλος κατά την καθοδική πορεία με φορτίο καταναλώνει ενέργεια.

```
final_str =
"/Gnd 1 in/3 floor - 1 out // /5 floor - 1 in /Gnd 1 out"
```

t(sec)	Ενέργεια (kWh)
19:50:10	0.013121
19:50:25	-0.014757
19:50:44	0.019087

Συνολική κατανάλωση ενέργειας : 0.017452 kwh ανά διαδρομή

Ένα τελευταίο παράδειγμα, το οποίο θα πρέπει να αναλυθεί είναι η περίπτωση όπου ο θάλαμος κατεβαίνει, αλλά καταναλώνει ενέργεια. Με βάση τον παραπάνω πίνακα στην τελευταία περίπτωση, όπου ο θάλαμος κάνει ένα ταξίδι από τον 5 όροφο του κτιρίου στο ισόγειο με 1 άτομο (75kg) παρατηρείται ότι ο ανελκυστήρας καταναλώνει ενέργεια.



Από τα παραπάνω γραφήματα υπολογίζεται η ενέργεια στις περιοχές της επιτάχυνσης, σταθερής ταχύτητας και επιβράδυνσης, οι οποίες προστιθέμενες καταλήγουν στο αποτέλεσμα $E_m = 0,019087 \text{ KWh}$, όπως εμφανίζεται στον παραπάνω πίνακα προσθέτοντας και τις μηχανικές και ηλεκτρικές απώλειες.

4.7 Προσεγγιστικός υπολογισμός της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας

Σε συνέχεια του υπολογισμού κατανάλωσης ενέργειας ενός ανελκυστήρα σε κατάσταση αναμονής (βλέπε Κεφάλαιο 4.4) και κατανάλωσης ενέργειας σε ένα κύκλο λειτουργίας (βλέπε Κεφάλαιο 4.5) σε αυτό το Κεφάλαιο πραγματοποιείται υπολογισμός ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας. [7]

Για τον ακριβή υπολογισμό της ετήσιας κατανάλωσης, κατά την προσομοίωση ο ανελκυστήρας θα πρέπει να λειτουργεί κάτω από πραγματικές συνθήκες. Για να επιτευχθούν αυτά τα αποτελέσματα, θα πρέπει να οριστούν κάποιοι συντελεστές, οι οποίοι αναφέρονται στην εργασία “Energy Efficient Elevators- Escalators”. Η εργασία πραγματοποιήθηκε το 2010 με επικεφαλή το Ινστιτούτο Ερευνών και Μετάδοσης Τεχνολογίας – ISR, που εντάσσεται στο Πανεπιστήμιο της Κοϊμπρα στην Πορτογαλία [7]. Οι μελέτες είχαν λάβει χώρα σε 4 Ευρωπαϊκές Χώρες (Γερμανία, Ιταλία, Πολωνία και Πορτογαλία) και είχαν στόχο την παρακολούθηση 74 διαφορετικών εγκαταστάσεων ανελκυστήρων και κατανόηση της ενεργειακής συμπεριφοράς αυτών. Οι ανελκυστήρες που μελετήθηκαν κάλυπταν ένα ευρύ φάσμα διαφόρων εγκαταστάσεων, με γνώμονα τη χρονολογία τους και την τεχνολογία τους. Ένα εκ των αποτελεσμάτων της μελέτης, ήταν οι προαναφερθέντες συντελεστές, που είναι οι εξής:

Μέσος συντελεστής φορτίου (average motor load factor), cl

Πρόκειται για τον ποσοστιαίο λόγο του μέσου φορτίου ατόμων προς το μέγιστο δυνατό φορτίο :

$$cl = \text{Μέσο φορτίο ατόμων} / \text{Μέγιστο δυνατό φορτίο}(Q)$$

Ο μέσος συντελεστής φορτίου προσδιορίζεται ύστερα από στατιστική μελέτη διαδρομών με διαφορετικά μέγιστα δυνατά φορτία από 0% έως 100% με διαφορά 25%. Η στατιστική μελέτη υπολογίστηκε ως στατιστικός μέσος όρος με τα εξής αποτελέσματα:

για υδραυλικούς ανελκυστήρες : $cl=0.3$

για ηλεκτροκίνητους : $cl=0.35$

Αιτία των μικρών τιμών του συντελεστή, αποτελεί η συνήθης κίνηση του ανελκυστήρα με μηδενικό αριθμό επιβατών/ φορτίου, όταν κάποιος καλεί τον ανελκυστήρα.

Συντελεστής μέσης απόστασης (average travel distance factor), cd :

Ο συντελεστής δηλώνει τη μέση απόσταση μίας διαδρομής. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι τιμές του συντελεστή ανά εγκατάσταση.

Αριθμός στάσεων	Συντελεστής cd
Κτίριο 2 στάσεων	1
Κτίριο με περισσότερες από 2 στάσεις και 1 ανελκυστήρα	0.5
Κτίριο με περισσότερες από 2 στάσεις και περισσότερους από 1 ανελκυστήρες	0.3

Στον παραπάνω πίνακα, εμφανίζεται ότι σε κτίρια με 2 ορόφους οι διαδρομές πραγματοποιούνται κατά 100%, σε κτίρια με περισσότερες από 2 στάσεις και 1 ανελκυστήρα κατά 50%, ενώ σε κτίρια με περισσότερες από 2 ορόφους και περισσότερους από 1 ανελκυστήρα κατά 30 %. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, λόγω προσομοίωσης κτιρίου 6 ορόφων και ενός ανελκυστήρα, χρησιμοποιήθηκε η τιμή:

$$cd = 0.5$$

Ετήσιος αριθμός διαδρομών, $ntrip$:

Ο ετήσιος αριθμός διαδρομών επηρεάζει άμεσα τη μετατροπή της ενέργειας που καταναλώθηκε σε έναν κύκλο λειτουργίας του ανελκυστήρα, σε ετήσια κατανάλωση ενέργειας αυτού. Είναι δύσκολο να προσδιοριστεί ακριβής αριθμός διαδρομών ανά κατηγορία κτιρίου , όπως κτίριο κατοικιών, κτίριο γραφείων, ξενοδοχεία, δημόσια κτίρια κ.τ.λ. Αιτία της δυσκολίας είναι πως ακόμα και σε κτίρια κοινής κατηγορίας υπάρχουν αισθητές αποκλίσεις, όπως εμφανίζεται στην Εικόνα , που αποτελεί αποτέλεσμα μελέτης του Ινστιτούτου S.A.F.E (Swiss Agency For Efficient Energy use) και του προτύπου SIA 380/4 (Swiss Society of Engineers Architects), ως προς τις διαδρομές ανα κατηγορία κτιρίων.

Εκτός των συντελεστών που αναφέρθηκαν, σημαντικός παράγοντας της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας αποτελεί η ενέργεια που καταναλώνεται σε κατάσταση αναμονής, όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 4.4, όπου και εμφανίζονται όλα τα φορτία που καταναλώνουν ενέργεια ακόμα και όταν ο θάλαμος δεν κινείται. Έχει παρατηρηθεί ότι σε κτίρια με ήπια χρήση του ανελκυστήρα τα παραπάνω φορτία καταναλώνουν ενέργεια ίση με το 90% της συνολικής εβδομαδιαίας και ο κινητήρας καταναλώνει μόλις 10%, ενώ σε κτίρια με υψηλή κυκλοφορία το αντίθετο. Για ακριβή μέτρηση της ενέργειας που καταναλώνεται από αυτά τα φορτία θα πρέπει να τοποθετηθούν ειδικοί μετρητές σε καθένα ξεχωριστά, όμως και πάλι λόγω διαφορετικών τεχνολογιών και διαφορετικών χρόνων κατανάλωσης, η διαδικασία αυτή καθίσταται δύσκολη. Κατά την μελέτη του Ινστιτούτου Ερευνών και Μετάδοσης Τεχνολογίας – ISR, προέκυψε ένα διάγραμμα κατανάλωσης σε κατάσταση αναμονής, που τονίζει την αναγκαιότητα προσμέτρησης της συγκεκριμένης ενέργειας στην ολική ενέργεια κατανάλωσης.

Είναι αρκετά δύσκολο να ληφθεί υπ' όψιν συγκεκριμένος και ακριβής αριθμός διαδρομών για κάθε κατηγορία από τις παραπάνω , γιατί ακόμα και σε κτίρια της ίδιας κατηγορίας υπάρχουν αρκετά μεγάλες αποκλίσεις. Για παράδειγμα, στην κατηγορία των κατοικιών υπάρχουν μικρά συγκροτήματα με μέσο όρο διαδρομών τις 50.000/έτος και μεγαλύτερα με μέσο αριθμό διαδρομών 160.000 διαδρομές/έτος. Επιβεβαίωση αποτελεί το παρακάτω σχήμα όπου φαίνονται ενδεικτικά τα αποτελέσματα μετρήσεων σε κάποιο δείγμα κτιρίων.

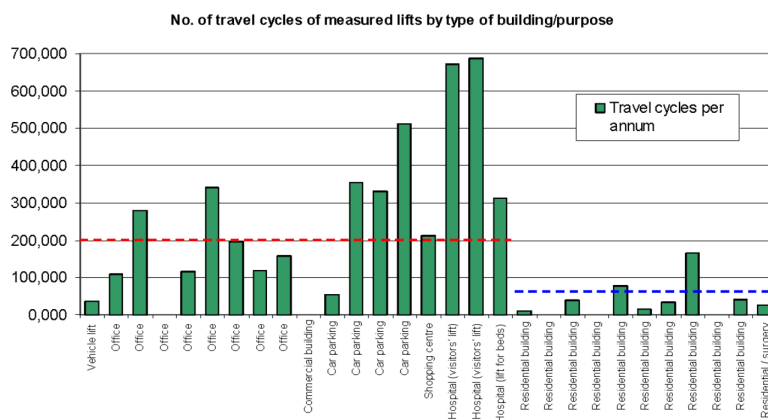


Figure 34: Αριθμός Ετήσιων Διαδρομών. Πηγή : Energy Efficient Elevators Escalators, ISR-UC, 2010

Έγινε μια προσπάθεια να οριστεί συγκεκριμένος αριθμός διαδρομών κατά μέσο όρο για κάθε κατηγορία, στηριζόμενοι σε στοιχεία που συλλέξαμε από το πρότυπο SIA 380/4 (Swiss Society of Engineers and Architects) και το ινστιτούτο S.A.F.E. (Swiss Agency for efficient energy use). Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Κατηγορίες κτιρίων	Αριθμός διαδρομών ανά έτος
Μικρά συγκροτήματα κατοικιών	60.000
Μεγάλα συγκροτήματα κατοικιών	100.000
Κτίρια Γραφείων	200.000
Δημόσιες Υπηρεσίες – Εμπορικά καταστήματα	250.000
Ξενοδοχεία - Πάρκινγκ	300.000
Νοσοκομεία	500.000

Ωστόσο, ενώ στην συγκεκριμένη διπλωματική στην αναγωγή ημερήσιων αποτελεσμάτων λαμβάνεται ως αποτέλεσμα περίπου 100.000 διαδρομές/έτος για την συγκεκριμένη ανάλυση των τελικών αποτελεσμάτων η μεταβλητή ntrip έχει την τιμή 200.000 με βάση την παραπάνω έρευνα.

Για τον ακριβή υπολογισμό της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας χρειάζεται να γνωρίζουμε ότι εκτός από την ενέργεια που καταναλώνει ο κινητήρας όταν ο θάλαμος κάνει μία διαδρομή, μερίδιο έχει και η

ενέργεια που καταναλώνεται όταν ο θάλαμος δεν κινείται. Η ενέργεια αυτή καταναλώνεται σε βοηθητικά φορτία και δεν είναι καθόλου αμελητέα. Τα φορτία αυτά φαίνονται παρακάτω:

Φορτία θαλάμου	Φορτία κατάστασης αναμονής
Φωτισμός	Σύστημα ελέγχου
Πίνακας ενδείξεων και πλήκτρων	Πλήκτρα κλήσης και πίνακες ενδείξεων (βελάκια, όροφος)
Εξαερισμός	Πόρτες
Σειρήνα	Φρένο

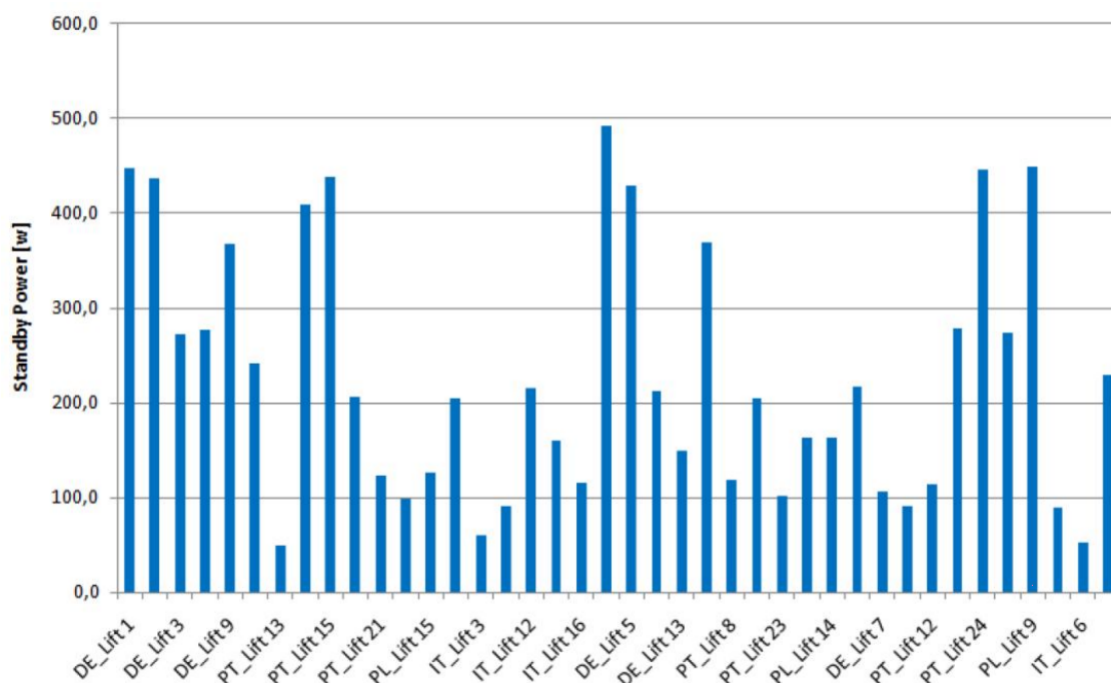


Figure 35: Ισχύς σε κατάσταση αναμονής. Πηγή : Energy Efficient Elevators Escalators, ISR-UC, 2010

Συμπεριλαμβανομένων της ενέργειας που καταναλώνεται ανα κύκλο λειτουργίας, των τριών συντελεστών καθώς και την ενέργειας που καταναλώνεται σε κατάσταση αναμονής, προκύπτει ο τελικός τύπος:

$$E_{lift} = E_{cycle} * cl * cd * ntrip + E_{stdby}$$

,όπου E_{stdby} είναι η ετήσια ενέργεια των φορτίων σε κατάσταση αναμονής του ανελκυστήρα. Ως κατάσταση αναμονής ορίζεται η κατάσταση κατά την οποία ο ανελκυστήρας ηλεκτροδοτείται αλλά δεν εκτελεί διαδρομές. Άρα στον υπολογισμό της συγκεκριμένης ενέργειας θα πρέπει να αφαιρεθεί το χρονικό διάστημα λειτουργίας και κίνησης του θαλάμου. Έτσι λοιπόν η ετήσια ενέργεια των φορτίων σε κατάσταση αναμονής υπολογίζεται από τον τύπο:

$$E_{stdby} = (8760 - cd * ntrip * h/v * 3600) * P_{stdby}$$

,όπου h είναι το συνολικό ύψος του κτιρίου που μελετάμε , v η ονομαστική ταχύτητα του ανελκυστήρα (0.6 για υδραυλικό, 0.9 για ηλεκτροκίνητο) και P_{stdby} είναι η ισχύς που καταναλώνεται σε κατάσταση αναμονής.Για την τελευταία τιμή έχουμε λάβει τον παρακάτω πίνακα από την έρευνα που έχει αναρτηθεί στο E4 project του ISR-UC.

	Average Stand-by power (W)		
	Hydraulic	Geared	Gearless
Residential	180,4	163,8	249,0
Office	182,9	244,8	320,7
Hospital	339,6	244,1	163,7
Industrial	253,1	436,5	--
Commercial	--	--	235,1
Hotel	113,6	198,5	204,3

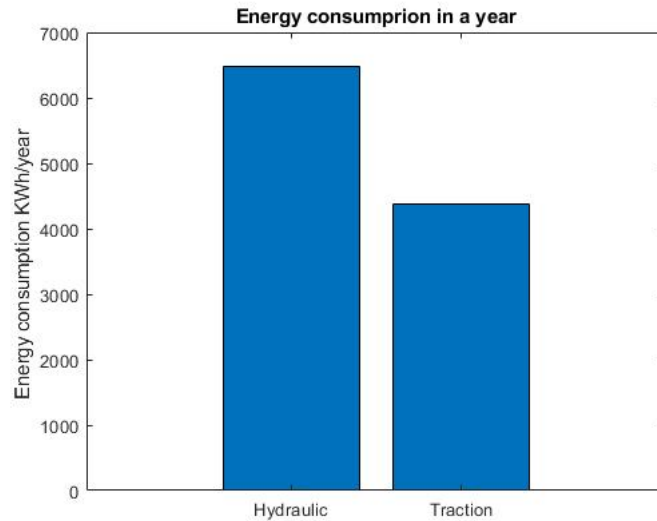
Figure 36: Μέση ισχύς σε κατάσταση αναμονής ανά τύπο ανελκυστήρα .Πηγή : Energy Efficient Elevators Escalators, ISR-UC, 2010

Με βάση τα παραπάνω για τον υπολογισμό της ισχύος που καταναλώνεται σε κατάσταση αναμονής σε κτίριο που στεγάζει εταιρείες για έναν ηλεκτροκίνητο δίνεται από την παραπάνω έρευνα ως $P_{stdby}=180W$ και για τον υδραυλικό ως $P_{stdby}=200W$ και θεωρητικά είναι ανάλογη με το μέγεθος της εγκατάστασης τον αριθμό των απόμων και το ύψος του κτιρίου αποτελεί μια τάξη μεγέθους 3-5% της ονομαστικής ισχύος του κινητήρα.

Για τους παραπάνω μαθηματικούς τύπους, αναπτύχθηκε ειδικός κώδικας σε συνάρτηση με το κτίριο προσομοίωσης και καταλήγει σε τελικές τιμές ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας για τους 2 τύπους ανελκυστήρα που μελετούνται και είναι οι εξής:

Υδραυλικός	5690 kWh
Μηχανικός	4086 kWh

Τα παραπάνω αποτελέσματα ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας είναι κατά προσέγγιση διότι όσον αφορά τα συνολικά ετήσια ταξίδια που γίνονται σε ένα κτίριο με γραφεία έχουμε λάβει την μέση τιμή του γραφήματος και όχι την πραγματική.



Παρατηρείται, ότι υπάρχει αισθητή διαφορά μεταξύ των δύο τιμών, τιμές που επαληθεύονται διότι κατά σύγκρισης των αρχών λειτουργίας των δύο τύπων ανελκυστήρων ο υδραυλικός ανελκυστήρας καταναλώνει περισσότερη ενέργεια περί του 20%. Με βάση όλα τα παραπάνω και με βάση τα τελικά αποτελέσματα της ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης, θεωρούμε ότι η τιμή χρέωσης της ενέργειας είναι 0.09€/kWh οπότε θα λάβουμε τις παρακάτω τιμές χρέωσης:

Για τον υδραυλικό ανελκυστήρα η τελική χρέωση της ενέργειας τον χρόνο είναι $E=583\text{€}$

Για τον ηλεκτροκίνητο ανελκυστήρα η τελική χρέωση της ενέργειας τον χρόνο είναι $E=400\text{€}$

4.8 Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας έχοντας λάβει και τις τελικές τιμές χρέωσης της ετήσιας ενέργειας παρατηρούμε ότι η διαφορά είναι αρκετά μεγάλη (30%) και αυτό συμβαίνει διότι αναφερόμαστε σε ένα κτίριο το οποίο στεγάζει γραφεία και κάνει αρκετά ταξίδια μέσα στην ημέρα . Ωστόσο η παραπάνω ανάλυση δεν μπορούσε να γίνει σε κτίριο με περισσότερους ορόφους αντί για 6 διότι υπάρχει μεγάλη χρέωση για τους υδραυλικούς ανελκυστήρες λόγω ότι θα χρειαστεί αρκετά μεγάλο έμβολο και άρα αρκετά λάδια οπότε αυτό το καταστεί αρκετά ακριβό και έχει αρκετά μεγάλη ενεργειακή κατανάλωση .Έτσι, με βάση τα παραπάνω είναι ξεκάθαρο ότι ο ηλεκτροκίνητος ανελκυστήρας αποτελεί μία σχετικά καλύτερη εγκατάσταση σε σχέση με τον υδραυλικό και σε σχέση με τις ταχύτητες που μπορεί να φτάσει αλλά και με την ενεργειακή του κατανάλωση.

5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ - Μείωση Κόστους Με Χρήση Μπαταρίας

5.1 Διαχείριση ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίου με μπαταρία

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα αναπτυχθεί ο αλγόριθμος της έξυπνης φόρτισης ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί για την ελαχιστοποίηση του κόστους κατανάλωσης του ανελκυστήρα αλλά και γενικότερα του κτιρίου. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος μπορεί να εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας γραμμική βελτιστοποίηση προγραμματισμού και πιο συγκεκριμένα τη συνάρτηση `fmincon` της `matlab`. Για να χρησιμοποιήσουμε την συγκεκριμένη συνάρτηση θα πρέπει να διατυπώσουμε το πρόβλημα με τους κατάλληλους πίνακες που η συνάρτηση δέχεται ως είσοδοι. Πρέπει επίσης να καθοριστούν οι σωστοί περιορισμοί που περιγράφουν το πρόβλημα.

Το πρόβλημα βελτιστοποίησης που πρέπει να επιλυθεί είναι το εξής:

$$\min \sum_{t_0}^{t_d} P_{bat}(t) * EP(t) * \Delta t$$

Όπου, P_{bat} (σε kW) είναι η ηλεκτρική ισχύς που ανταλλάσσει η μπαταρία με το ηλεκτρικό δίκτυο, $EP(t)$ (σε €/KWh) είναι η τιμή ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη χρονική περίοδο t , Δt είναι το χρονικό διάστημα που χρησιμοποιείται (ορίζεται σε 1 ώρα σε αυτήν τη μελέτη). t_0 είναι ο χρόνος που αρχίζουμε την μελέτη (00:00) και t_d είναι ο χρόνος που ολοκληρώνεται (23:59). Η λειτουργία βελτιστοποίησης υπόκειται σε ορισμένους γραμμικούς περιορισμούς για να περιγράψει τους περιορισμούς τόσο της διαδικασίας φόρτισης όσο και των αναγκών της μπαταρίας.

$$P_{min} \leq P_{bat} \leq P_{max}$$

$$SoC_{min} \leq SoC \leq SoC_{max}$$

$$SoC_{td} = SoC_{target}$$

Όπου, το P_{min} (max) (σε kW) είναι η ελάχιστη (μέγιστη) ηλεκτρική ισχύς που μπορεί να ανταλλάξει η μπαταρία με το ηλεκτρικό δίκτυο, το SoC_{min} (max) (σε%) είναι η ελάχιστη (μέγιστη) ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να αποθηκευτεί στην μπαταρία και SoC_{td} (σε %) είναι η αποθηκευμένη ενέργεια κατά τη στιγμή της αναχώρησης.

Η μεταβλητή SoC_{min} , αφορά την ελάχιστη ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να αποθηκευτεί στην μπαταρία. Στα πλαίσια της προσομοίωσης μας η ελάχιστη τιμή της μεταβλητής έχει οριστεί ως :

$$SoC_{min} = SoC_{minbat} + SoC_{minbuilt} + SoC_{minelevator}$$

,όπου SoC_{minbat} (kWh) είναι η ελάχιστη ηλεκτρική ενέργεια της μπαταρίας.

$SoC_{minbuilt}$ (kWh) είναι η ελάχιστη ηλεκτρική ενέργεια για την τροφοδοσία του κτιρίου για ανάγκες φωτισμού κ.τ.λ σε διάστημα μισής ώρας. Για την συγκεκριμένη μελέτη η μεταβλητή αυτή έχει τιμή 3 kWh

$SoC_{minelevator}$ (kWh) είναι υπολογισμένη ως η ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται για την κίνηση του ανελκυστήρα για αυτονομία 4 ωρών.

5.1.1 Μοντελοποίηση στο Matlab

Όλοι οι παραπάνω περιορισμοί πρέπει να έχουν τη μορφή $A \cdot x \leq b$. Όπου, το A είναι ένας πίνακας ο οποίος στην συγκεκριμένη διπλωματική αντιπροσωπεύει τις χρονοθυρίδες που κάνουμε την ανάλυση (24 ώρες), το x είναι ένα διάνυσμα που αντιπροσωπεύει την ηλεκτρική ισχύ που θα χρησιμοποιηθεί για τη φόρτιση της μπαταρίας και το b είναι ένα διάνυσμα που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της τρέχουσας ενέργειας που είναι αποθηκευμένη μπαταρία. Κάθε στοιχείο του x ορίζει την ηλεκτρική ισχύ που θα χρησιμοποιηθεί στη συγκεκριμένη χρονική υποδοχή και περιορίζεται από τον τύπο

$$P_{min} \leq P_{bat} \leq P_{max}$$

όπως φαίνεται και παραπάνω. Για το στοιχείο A, χρειάζονται 2 δευτερεύοντες πίνακες σε κάτω τριγωνική μορφή, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι η ενέργεια στην μπαταρία βρίσκεται εντός των ορίων χωρητικότητας σε κάθε χρονικό διάστημα της ημέρας. Ο πρώτος υπο-πίνακας (SoC < 0) έχει την ακόλουθη μορφή:

$$A_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & 1 & \ddots & 0 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Σε κάθε χρονοδιάγραμμα, πρέπει να ικανοποιείται:

$$E_{init} + chargedEnergy - consumedEnergy \leq E_{bat, max}$$

Έτσι, αναδιατυπώνοντας την παραπάνω εξίσωση, το πρώτο μέρος του διανύσματος b θα είναι:

$$b1(t) = E_{bat, max} - E_{init} + E_{cons}(t)$$

Όπου E_{init} (σε kWh) είναι η αρχική αποθηκευμένη ενέργεια σε $t = 0$ και $E_{cons}(t)$ είναι η ενέργεια σε kWh, που η μπαταρία έχει καταναλώσει για τις προηγούμενες ώρες έως και το χρονικό διάστημα t.

Ο δεύτερος υπο-πίνακας (SoC > 0) είναι ο ίδιος με τον πρώτο, αλλά πρέπει να πολλαπλασιαστεί με -1 για να αλλάξει την κατεύθυνση της ανισότητας, καθώς το fmincon δέχεται μόνο περιορισμούς με τη μορφή $A \cdot x \leq b$.

$$A2 = -A1$$

Και πάλι, η φορτισμένη ενέργεια για κάθε χρονικό διάστημα οριοθετείται από τον τύπο:

$$E_{init} + chargedEnergy - consumedEnergy \geq E_{bat, min}$$

Και το αντίστοιχο b στοιχείο θα είναι:

$$b1(t) = E_{bat, min} - E_{init} + E_{cons}(t)$$

5.2 Εφαρμογή σε πραγματικό κτίριο

Σε αυτήν την ενότητα, θα παρουσιαστούν οι παράμετροι και οι εισροές του προτεινόμενου μοντέλου, καθώς και τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τις 5 ημέρες της εβδομάδας σε ένα κτίριο 6 ορόφων . Στο πρώτο κεφάλαιο αναφερόμαστε σε κτίριο που έχει εγκατεστημένο έναν υδραυλικό ανελκυστήρα ενώ στο δεύτερο κεφάλαιο αναφερόμαστε σε κτίριο με ηλεκτροκίνητο ανελκυστήρα.

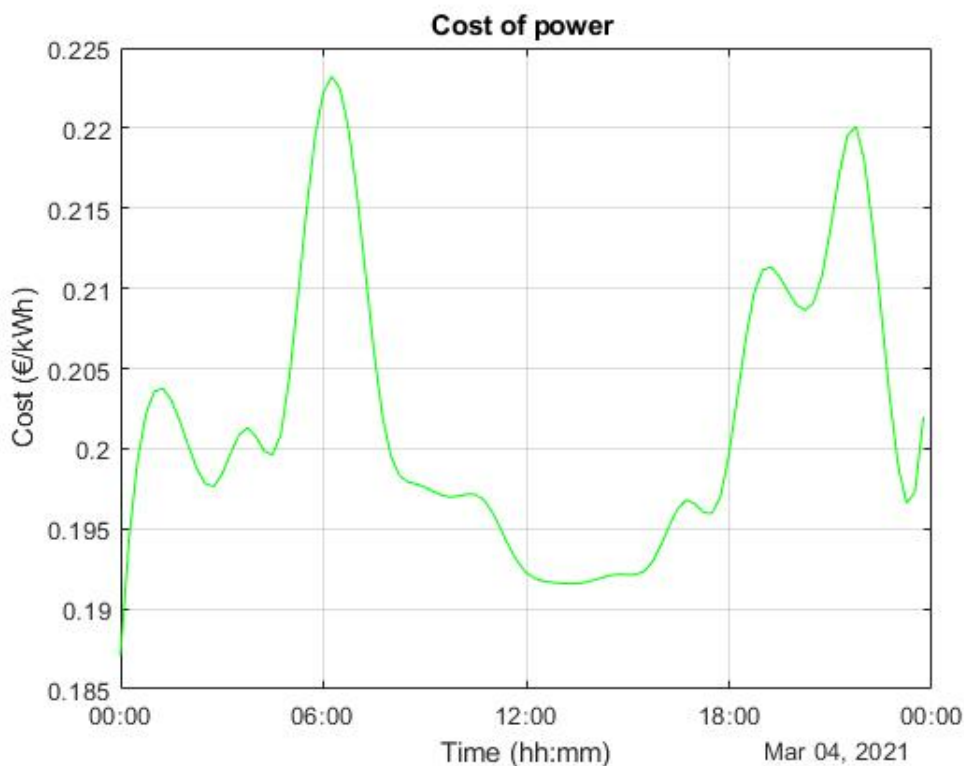
5.2.1 Κτίριο με υδραυλικό ανελκυστήρα

Στην συγκεκριμένη μελέτη, αναφερόμαστε σε ένα 6 όροφο κτίριο το οποίο περιέχει υδραυλικό ανελκυστήρα και μια μπαταρία αρκετά μεγάλη για να καλύψει τις ανάγκες του ανελκυστήρα για 4 ώρες αλλά και τα φώτα που υπάρχουν στο κλιμακοστάσιο της πολυκατοικίας.

- ΔΕΥΤΕΡΑ

Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε τον συνολικό αριθμό των ατόμων που εισήλθαν στο κτίριο την Δευτέρα ,και την συνολική κατανάλωση ενέργειας χωρίς την χρήση της μπαταρίας. Στην συνέχεια,στο πρώτο γράφημα παρατηρούμε την τιμή της kWh μέσα στην ημέρα .

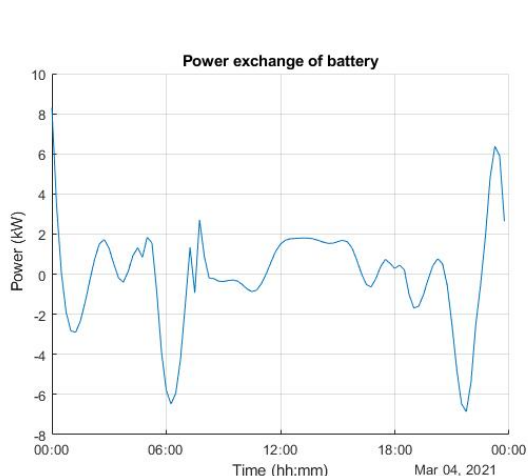
Συνολικά Άτομα	Ενέργεια που καταναλώθηκε
300	2.8 kWh



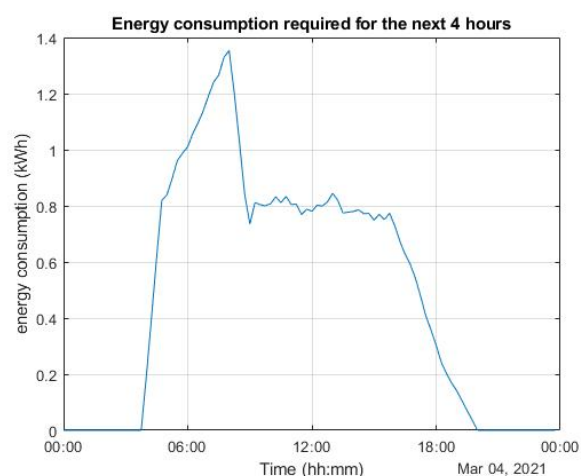
Έχοντας λάβει το παραπάνω μεταβλητό τιμολόγιο για την τιμή της kWh μέσα στην ημέρα προσθέτουμε στο μοντέλο του ανελκυστήρα μία μπαταρία με τα παρακάτω χαρακτηριστικά .Την τιμή της μέγιστης ροής ισχύος την λαμβάνουμε από την τιμή της μέγιστης ισχύος του κινητήρα που χρησιμοποιούμε.

Συνολική Χωρητικότητα μπαταρίας	Μέγιστη ροή ισχύος	Ελάχιστη ροή ισχύος
15 kWh	10 kW	-10 kW

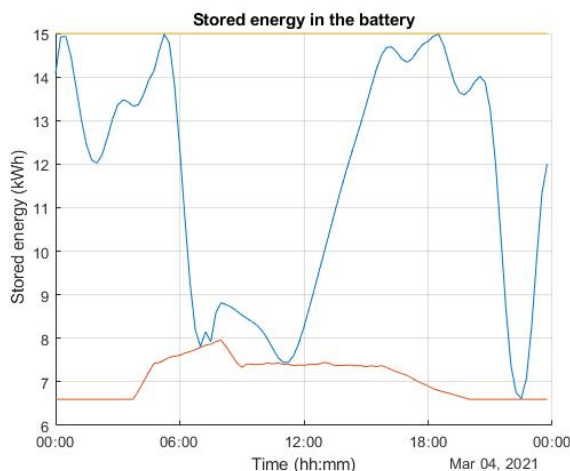
Στα 3 παρακάτω γραφήματα παρατηρούμε την ισχύς της μπαταρίας ,το φορτίο που έχει ο ανελκυστήρας την συγκεκριμένη ημέρα αλλά και το στάδιο φόρτισης της μπαταρίας κάθε χρονική στιγμή.



(a) Ισχύς που ανταλλάζει η μπαταρία με το δίκτυο



(b) Απαιτούμενη κατανάλωση ενέργειας για τις επόμενες 4 ώρες



(c) Βέλτιστη αποθηκευμένη ενέργεια στην μπαταρία (Άνω -Κάτω όριο μπαταρίας)

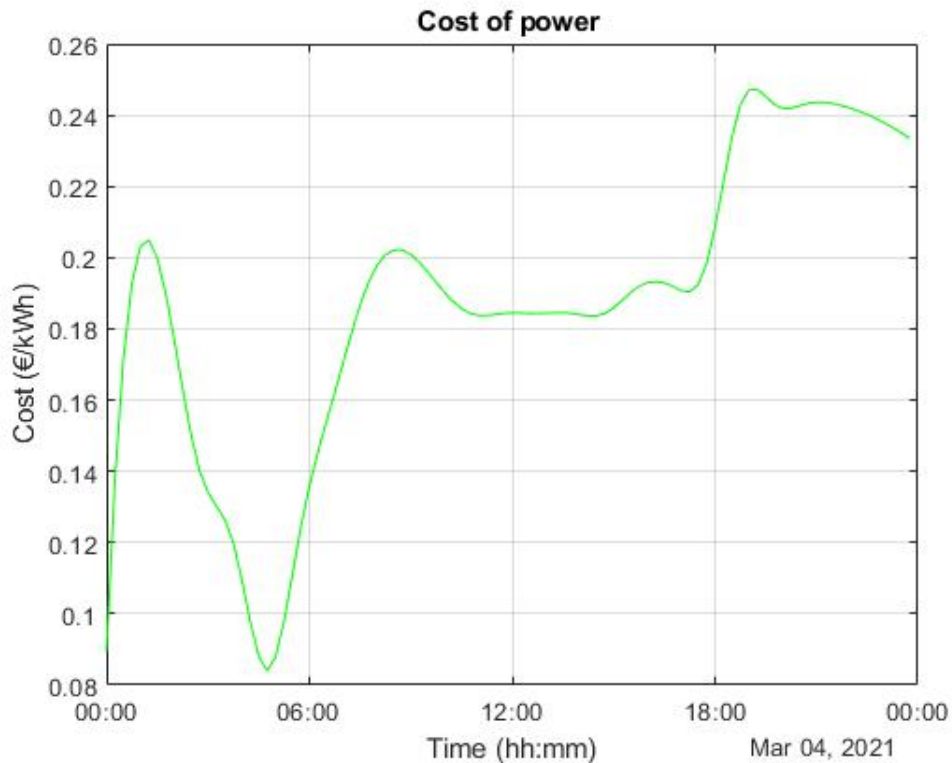
Τέλος στον παρακάτω πίνακα φαίνεται μία οικονομική μελέτη για την συγκεκριμένη ημέρα χωρίς την χρήση μπαταρίας αλλά και με αυτή.

Ημέρα	Συνολικό κόστος χωρίς την χρήση μπαταρίας	Χρήση μπαταρίας
Δευτέρα	0.56 €	-0.38835 €

- ΤΡΙΤΗ

Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε τον συνολικό αριθμό των ατόμων που εισήλθαν στο κτίριο την Τρίτη ,και την συνολική κατανάλωση ενέργειας χωρίς την χρήση της μπαταρίας. Στην συνέχεια,στο πρώτο γράφημα παρατηρούμε την τιμή της kWh μέσα στην ημέρα .

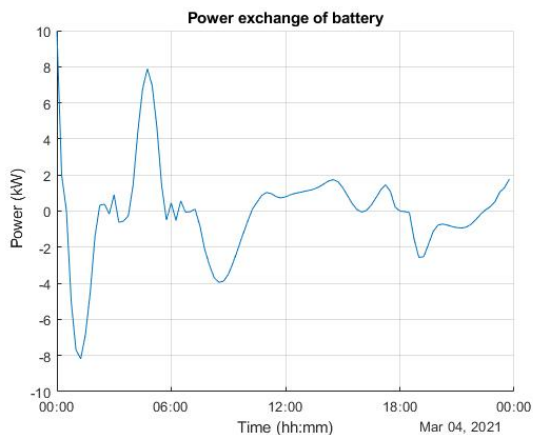
Συνολικά Άτομα	Ενέργεια που καταναλώθηκε
600	4.11 kWh



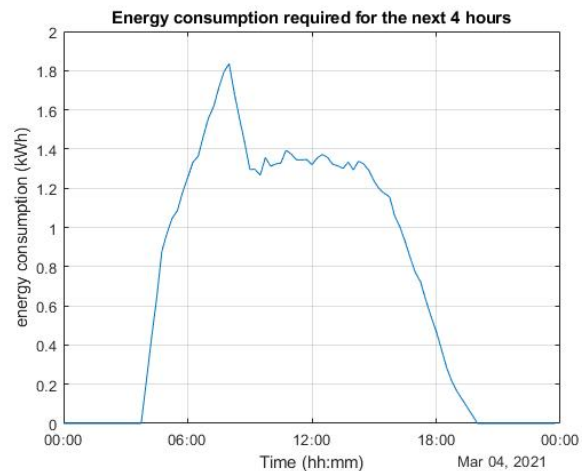
Έχοντας λάβει το παραπάνω μεταβλητό τιμολόγιο για την τιμή της kWh μέσα στην ημέρα προσθέτουμε στο μοντέλο του ανελκυστήρα μία μπαταρία με τα παρακάτω χαρακτηριστικά .Την τιμή της μέγιστης ροής ισχύος την λαμβάνουμε από την τιμή της μέγιστης ισχύς του κινητήρα που χρησιμοποιούμε.

Συνολική Χωρητικότητα μπαταρίας	Μέγιστη ροή ισχύος	Ελάχιστη ροή ισχύος
15 kWh	10 kW	-10 kW

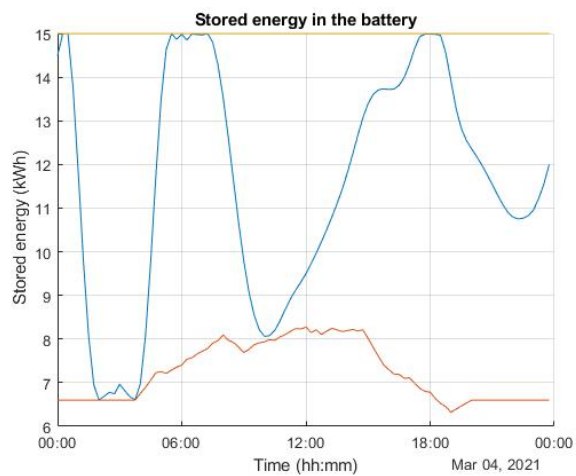
Στα 3 παρακάτω γραφήματα παρατηρούμε την ισχύς της μπαταρίας ,το φορτίο που έχει ο ανελκυστήρας την συγκεκριμένη ημέρα αλλά και το στάδιο φόρτισης της μπαταρίας κάθε χρονική στιγμή.



(a) Ισχύς που ανταλλάζει η μπαταρία με το δίκτυο



(b) Απαιτούμενη κατανάλωση ενέργειας για τις επόμενες 4 ώρες



(c) Βέλτιστη αποθηκευμένη ενέργεια στην μπαταρία
(Άνω -Κάτω όριο μπαταρίας)

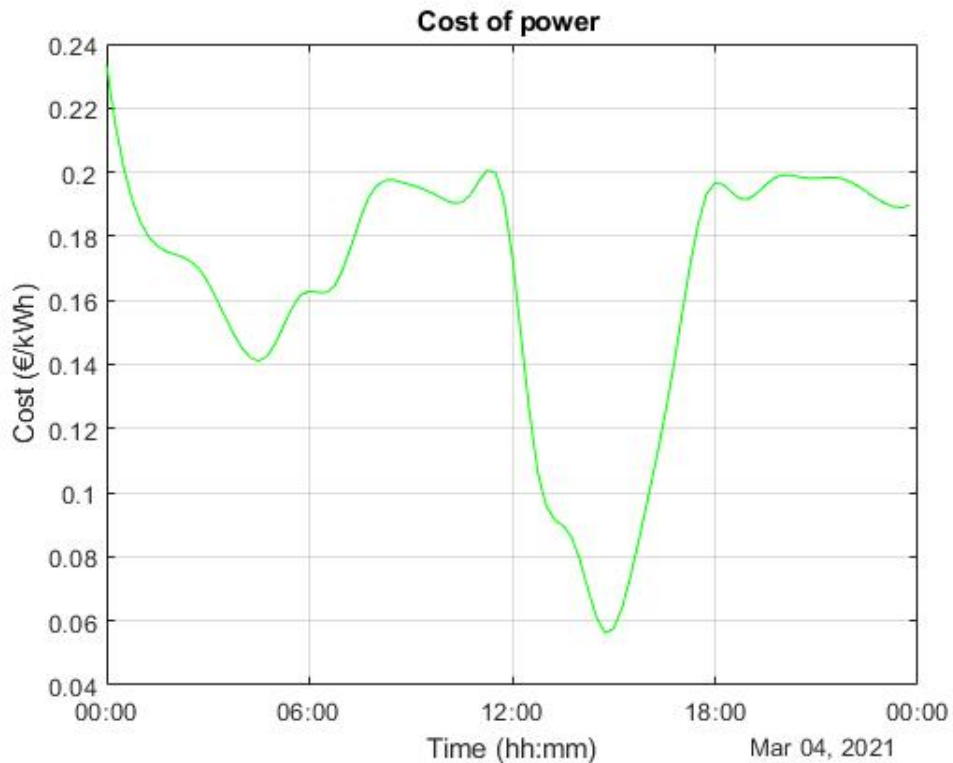
Τέλος στον παρακάτω πίνακα φαίνεται μία οικονομική μελέτη για την συγκεκριμένη ημέρα χωρίς την χρήση μπαταρίας αλλά και με αυτή.

Ημέρα	Συνολικό κόστος χωρίς την χρήση μπαταρίας	Χρήση μπαταρίας
Τρίτη	0.81 €	-1.3965 €

- ΤΕΤΑΡΤΗ

Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε τον συνολικό αριθμό των ατόμων που εισήλθαν στο κτίριο την Τετάρτη ,και την συνολική κατανάλωση ενέργειας χωρίς την χρήση της μπαταρίας. Στην συνέχεια,στο πρώτο γράφημα παρατηρούμε την τιμή της kWh μέσα στην ημέρα .

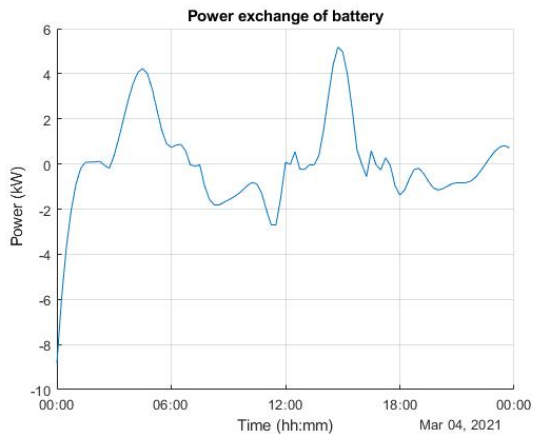
Συνολικά Άτομα	Ενέργεια που καταναλώθηκε
800	5.2 kWh



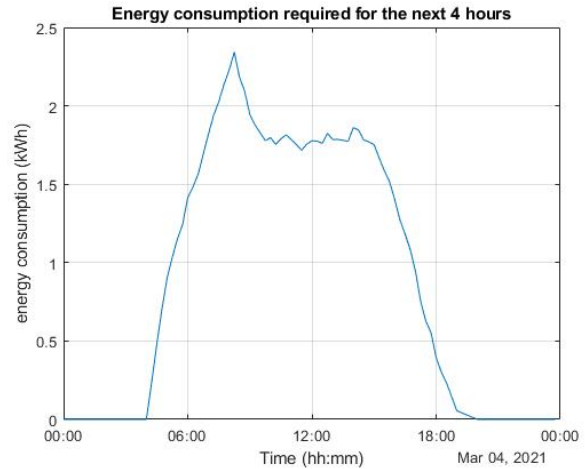
Έχοντας λάβει το παραπάνω μεταβλητό τιμολόγιο για την τιμή της kWh μέσα στην ημέρα προσθέτουμε στο μοντέλο του ανελκυστήρα μία μπαταρία με τα παρακάτω χαρακτηριστικά .Την τιμή της μέγιστης ροής ισχύος την λαμβάνουμε από την τιμή της μέγιστης ισχύς του κινητήρα που χρησιμοποιούμε.

Συνολική Χωρητικότητα μπαταρίας	Μέγιστη ροή ισχύος	Ελάχιστη ροή ισχύος
15 kWh	10 kW	-10 kW

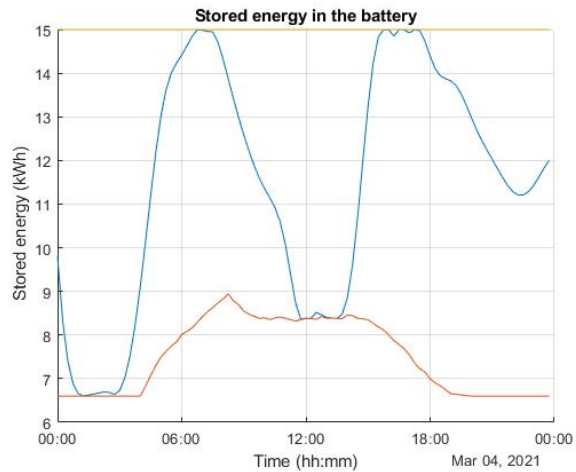
Στα 3 παρακάτω γραφήματα παρατηρούμε την ισχύς της μπαταρίας ,το φορτίο που έχει ο ανελκυστήρας την συγκεκριμένη ημέρα αλλά και το στάδιο φόρτισης της μπαταρίας κάθε χρονική στιγμή.



(a) Ισχύς που ανταλλάζει η μπαταρία με το δίκτυο



(b) Απαιτούμενη κατανάλωση ενέργειας για τις επόμενες 4 ώρες



(c) Βέλτιστη αποθηκευμένη ενέργεια στην μπαταρία
(Άνω -Κάτω όριο μπαταρίας)

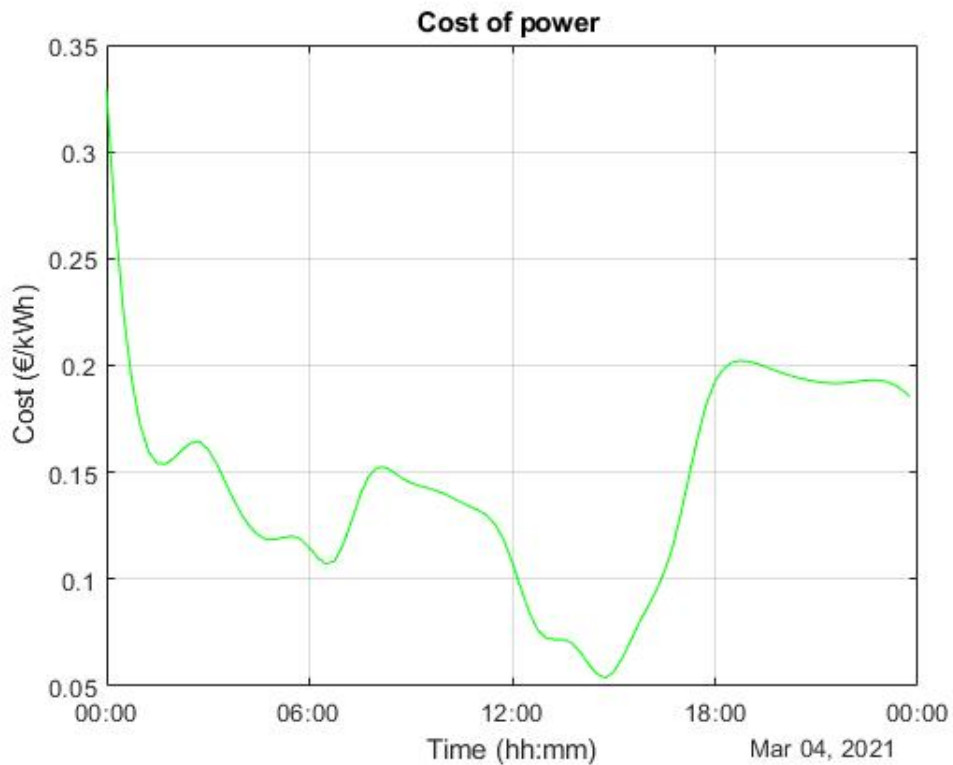
Τέλος στον παρακάτω πίνακα φαίνεται μία οικονομική μελέτη για την συγκεκριμένη ημέρα χωρίς την χρήση μπαταρίας αλλά και με αυτή.

Ημέρα	Συνολικό κόστος χωρίς την χρήση μπαταρίας	Χρήση μπαταρίας
Τετάρτη	0.79 €	-1.3773 €

• ΠΕΜΠΤΗ

Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε τον συνολικό αριθμό των ατόμων που εισήλθαν στο κτίριο την Πέμπτη ,και την συνολική κατανάλωση ενέργειας χωρίς την χρήση της μπαταρίας. Στην συνέχεια,στο πρώτο γράφημα παρατηρούμε την τιμή της kWh μέσα στην ημέρα .

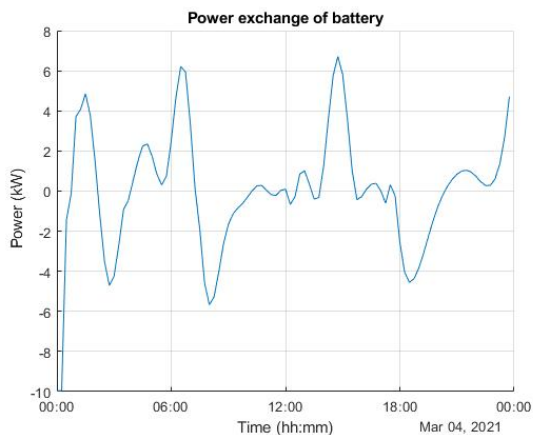
Συνολικά Άτομα	Ενέργεια που καταναλώθηκε
400	3.12 kWh



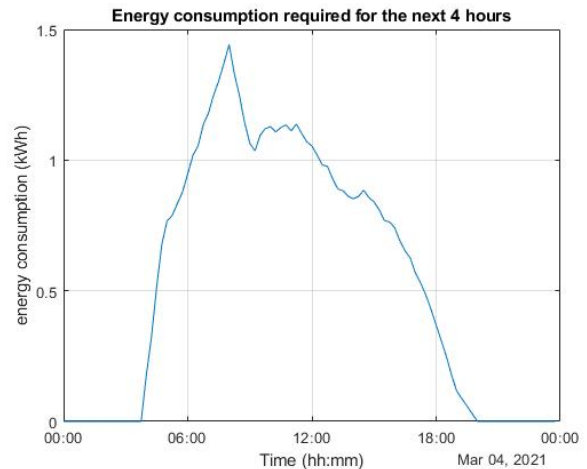
Έχοντας λάβει το παραπάνω μεταβλητό τιμολόγιο για την τιμή της kwh μέσα στην ημέρα προσθέτουμε στο μοντέλο του ανελκυστήρα μία μπαταρία με τα παρακάτω χαρακτηριστικά .Την τιμή της μέγιστης ροής ισχύος την λαμβάνουμε από την τιμή της μέγιστης ισχύος του κινητήρα που χρησιμοποιούμε.

Συνολική Χωρητικότητα μπαταρίας	Μέγιστη ροή ισχύος	Ελάχιστη ροή ισχύος
15 kWh	10 kW	-10 kW

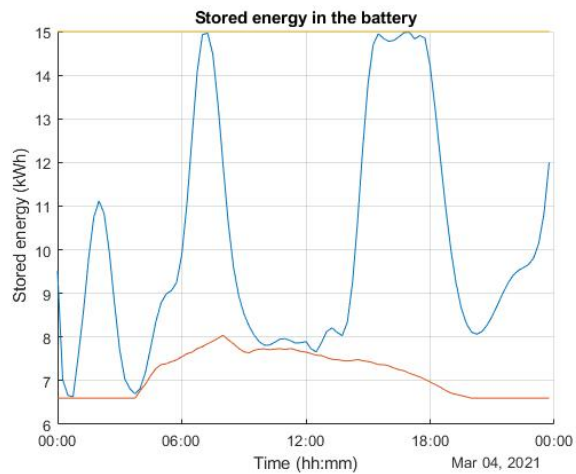
Στα 3 παρακάτω γραφήματα παρατηρούμε την ισχύς της μπαταρίας ,το φορτίο που έχει ο ανελκυστήρας την συγκεκριμένη ημέρα αλλά και το στάδιο φόρτισης της μπαταρίας κάθε χρονική στιγμή.



(a) Ισχύς που ανταλλάζει η μπαταρία με το δίκτυο



(b) Απαιτούμενη κατανάλωση ενέργειας για τις επόμενες 4 ώρες



(c) Βέλτιστη αποθηκευμένη ενέργεια στην μπαταρία
(Άνω -Κάτω όριο μπαταρίας)

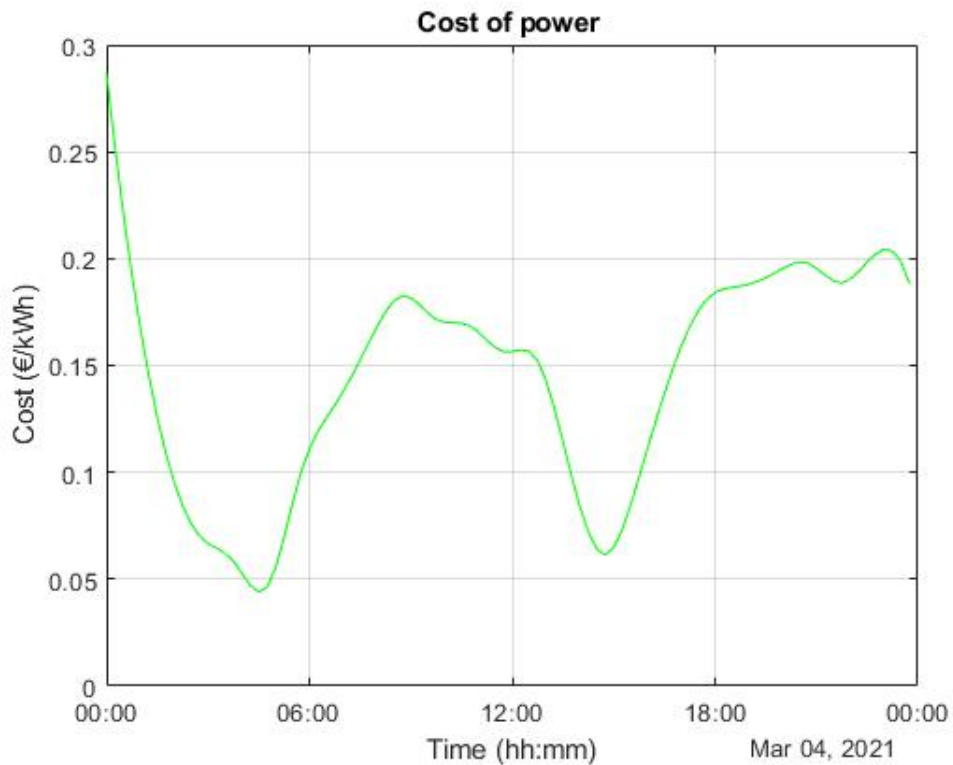
Τέλος στον παρακάτω πίνακα φαίνεται μία οικονομική μελέτη για την συγκεκριμένη ημέρα χωρίς την χρήση μπαταρίας αλλά και με αυτή.

Ημέρα	Συνολικό κόστος χωρίς την χρήση μπαταρίας	Χρήση μπαταρίας
Πέμπτη	0.40 €	-1.8966 €

• ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ

Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε τον συνολικό αριθμό των ατόμων που εισήλθαν στο κτίριο την Παρασκευή ,και την συνολική κατανάλωση ενέργειας χωρίς την χρήση της μπαταρίας. Στην συνέχεια,στο πρώτο γράφημα παρατηρούμε την τιμή της kWh μέσα στην ημέρα .

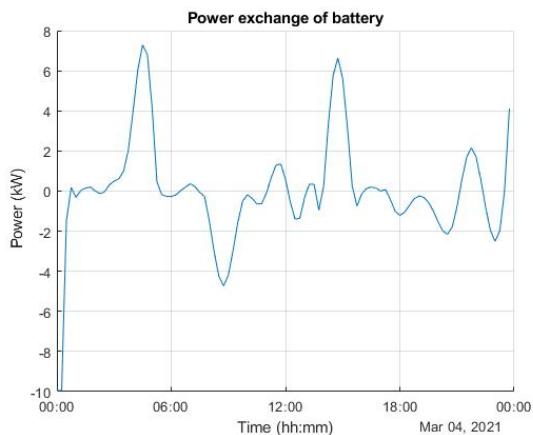
Συνολικά Άτομα	Ενέργεια που καταναλώθηκε
1000	5.7 kWh



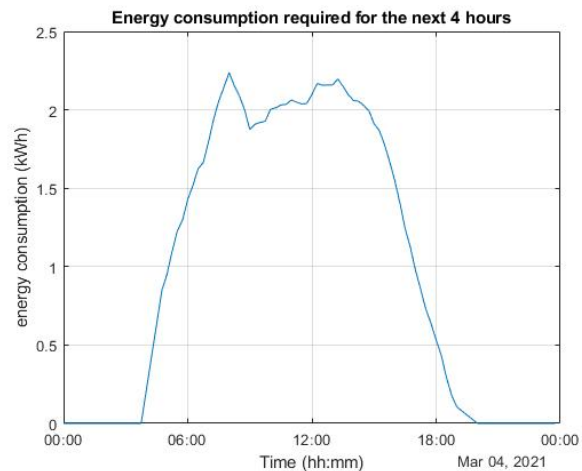
Έχοντας λάβει το παραπάνω μεταβλητό τιμολόγιο για την τιμή της kwh μέσα στην ημέρα προσθέτουμε στο μοντέλο του ανελκυστήρα μία μπαταρία με τα παρακάτω χαρακτηριστικά .Την τιμή της μέγιστης ροής ισχύος την λαμβάνουμε από την τιμή της μέγιστης ισχύος του κινητήρα που χρησιμοποιούμε.

Συνολική Χωρητικότητα μπαταρίας	Μέγιστη ροή ισχύος	Ελάχιστη ροή ισχύος
15 kWh	10 kW	-10 kW

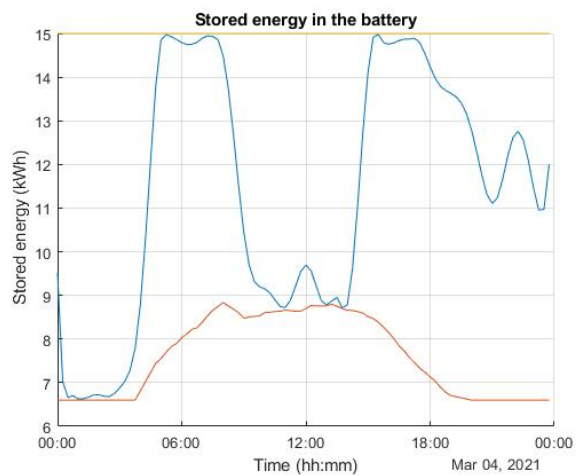
Στα 3 παρακάτω γραφήματα παρατηρούμε την ισχύς της μπαταρίας ,το φορτίο που έχει ο ανελκυστήρας την συγκεκριμένη ημέρα αλλά και το στάδιο φόρτισης της μπαταρίας κάθε χρονική στιγμή.



(a) Ισχύς που ανταλλάζει η μπαταρία με το δίκτυο



(b) Απαιτούμενη κατανάλωση ενέργειας για τις επόμενες 4 ώρες



(c) Βέλτιστη αποθηκευμένη ενέργεια στην μπαταρία
(Άνω -Κάτω όριο μπαταρίας)

Τέλος στον παρακάτω πίνακα φαίνεται μία οικονομική μελέτη για την συγκεκριμένη ημέρα χωρίς την χρήση μπαταρίας αλλά και με αυτή.

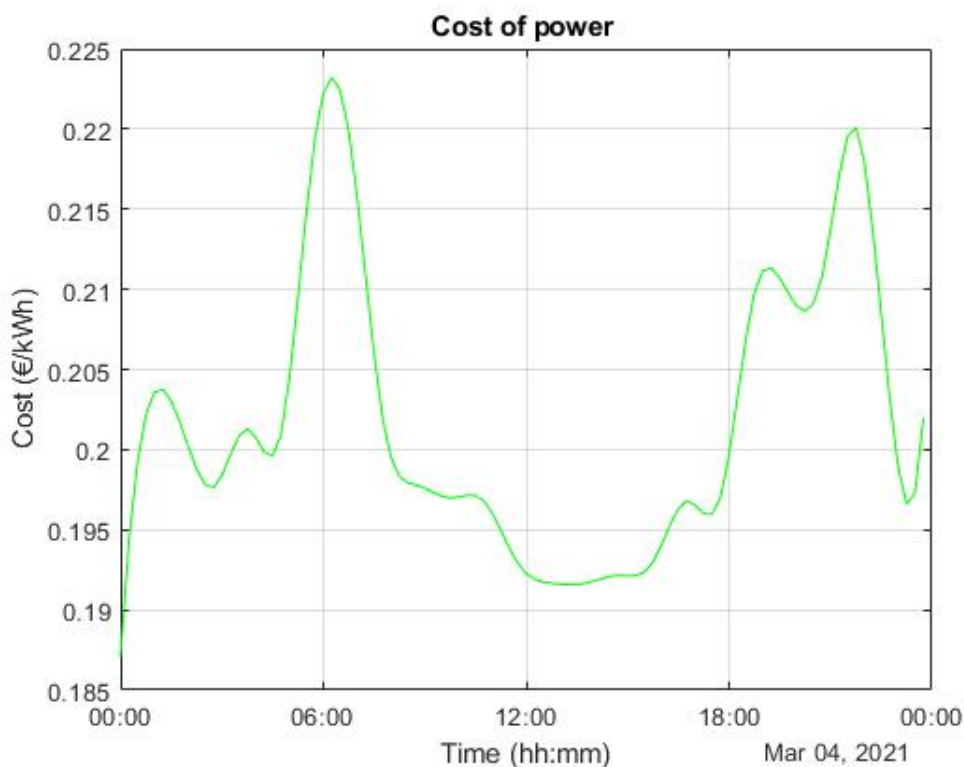
Ημέρα	Συνολικό κόστος χωρίς την χρήση μπαταρίας	Χρήση μπαταρίας
Παρασκευή	0.9 €	-2.2645 €

5.2.2 Κτίριο με ηλεκτροκίνητο ανελκυστήρα

- ΔΕΥΤΕΡΑ

Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε τον συνολικό αριθμό των ατόμων που εισήλθαν στο κτίριο την Δευτέρα ,και την συνολική κατανάλωση ενέργειας χωρίς την χρήση της μπαταρίας. Στην συνέχεια,στο πρώτο γράφημα παρατηρούμε την τιμή της kWh μέσα στην ημέρα .

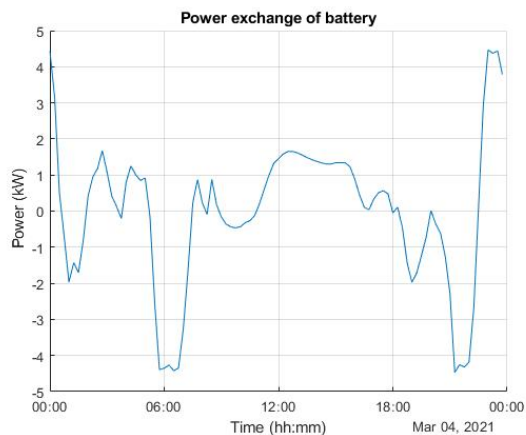
Συνολικά Άτομα	Ενέργεια που καταναλώθηκε
300	2.5 kWh



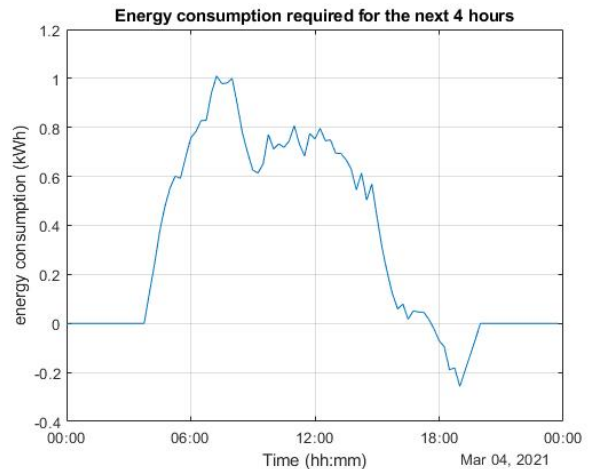
Έχοντας λάβει το παραπάνω μεταβλητό τιμολόγιο για την τιμή της kWh μέσα στην ημέρα προσθέτουμε στο μοντέλο του ανελκυστήρα μία μπαταρία με τα παρακάτω χαρακτηριστικά .Την τιμή της μέγιστης ροής ισχύος την λαμβάνουμε από την τιμή της μέγιστης ισχύος του κινητήρα που χρησιμοποιούμε.

Συνολική Χωρητικότητα μπαταρίας	Μέγιστη ροή ισχύος	Ελάχιστη ροή ισχύος
15 kWh	4.5 kW	-4.5 kW

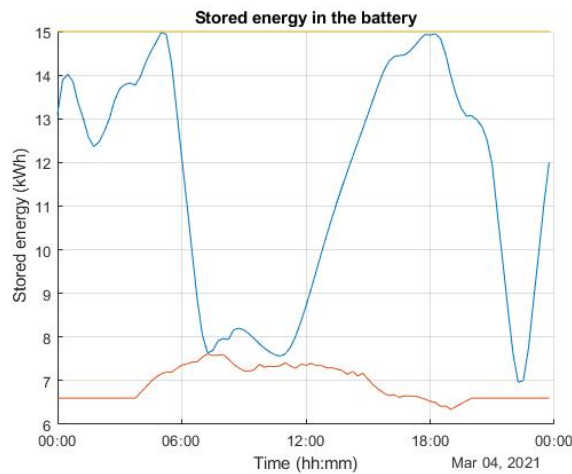
Στα 3 παρακάτω γραφήματα παρατηρούμε την ισχύς της μπαταρίας ,το φορτίο που έχει ο ανελκυστήρας την συγκεκριμένη ημέρα αλλά και το στάδιο φόρτισης της μπαταρίας κάθε χρονική στιγμή.



(a) Ισχύς που ανταλλάζει η μπαταρία με το δίκτυο



(b) Απαιτούμενη κατανάλωση ενέργειας για τις επόμενες 4 ώρες



(c) Βέλτιστη αποθηκευμένη ενέργεια στην μπαταρία
(Άνω -Κάτω όριο μπαταρίας)

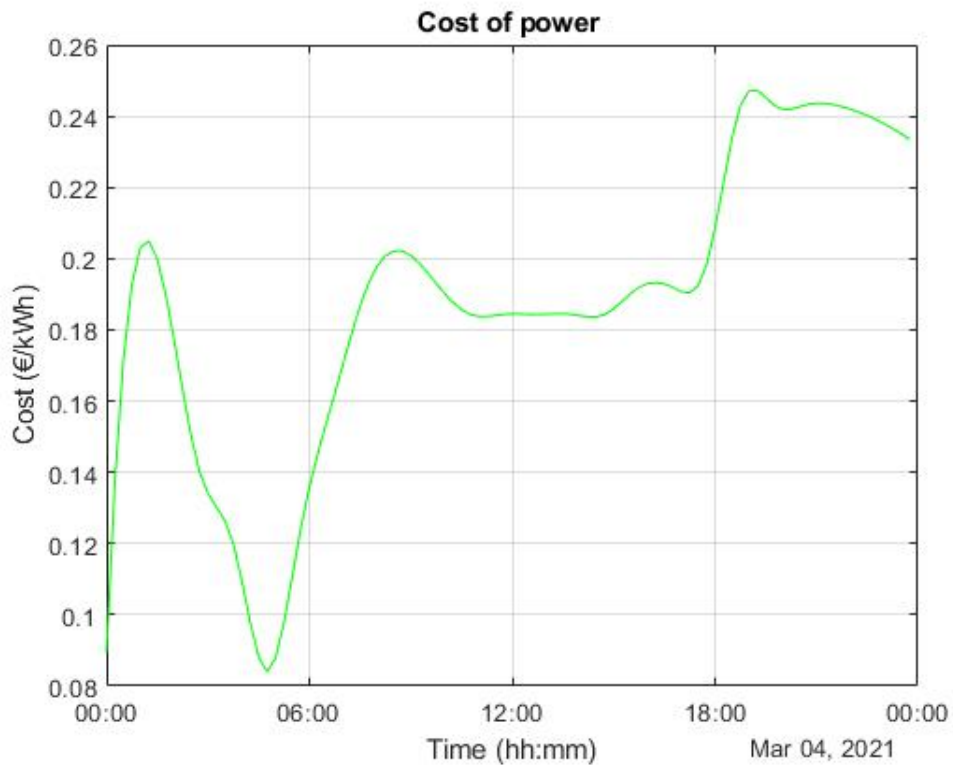
Τέλος στον παρακάτω πίνακα φαίνεται μία οικονομική μελέτη για την συγκεκριμένη ημέρα χωρίς την χρήση μπαταρίας αλλά και με αυτή.

Ημέρα	Συνολικό κόστος χωρίς την χρήση μπαταρίας	Χρήση μπαταρίας
Δευτέρα	0.40 €	-0.34746 €

• ΤΡΙΤΗ

Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε τον συνολικό αριθμό των ατόμων που εισήλθαν στο κτίριο την Τρίτη ,και την συνολική κατανάλωση ενέργειας χωρίς την χρήση της μπαταρίας. Στην συνέχεια,στο πρώτο γράφημα παρατηρούμε την τιμή της kWh μέσα στην ημέρα .

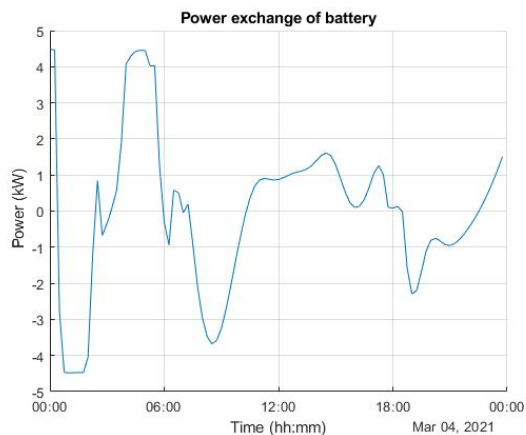
Συνολικά Άτομα	Ενέργεια που καταναλώθηκε
600	3.9 kWh



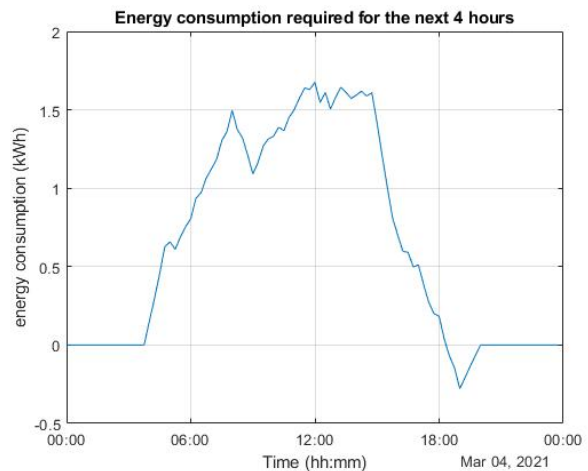
Έχοντας λάβει το παραπάνω μεταβλητό τιμολόγιο για την τιμή της kwh μέσα στην ημέρα προσθέτουμε στο μοντέλο του ανελκυστήρα μία μπαταρία με τα παρακάτω χαρακτηριστικά .Την τιμή της μέγιστης ροής ισχύος την λαμβάνουμε από την τιμή της μέγιστης ισχύος του κινητήρα που χρησιμοποιούμε.

Συνολική Χωρητικότητα μπαταρίας	Μέγιστη ροή ισχύος	Ελάχιστη ροή ισχύος
15 kWh	4.5 kW	-4.5 kW

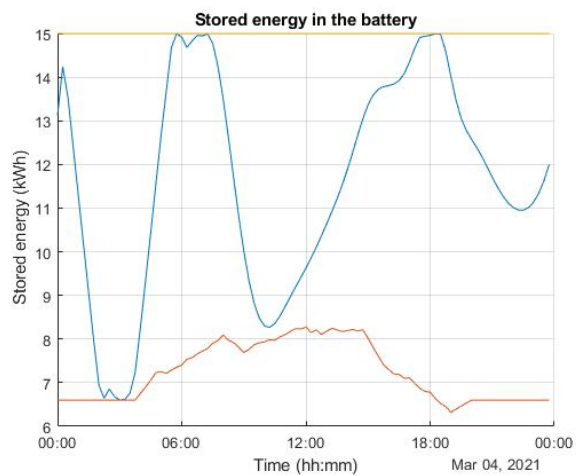
Στα 3 παρακάτω γραφήματα παρατηρούμε την ισχύς της μπαταρίας ,το φορτίο που έχει ο ανελκυστήρας την συγκεκριμένη ημέρα αλλά και το στάδιο φόρτισης της μπαταρίας κάθε χρονική στιγμή.



(a) Ισχύς που ανταλλάζει η μπαταρία με το δίκτυο



(b) Απαιτούμενη κατανάλωση ενέργειας για τις επόμενες 4 ώρες



(c) Βέλτιστη αποθηκευμένη ενέργεια στην μπαταρία
(Άνω -Κάτω όριο μπαταρίας)

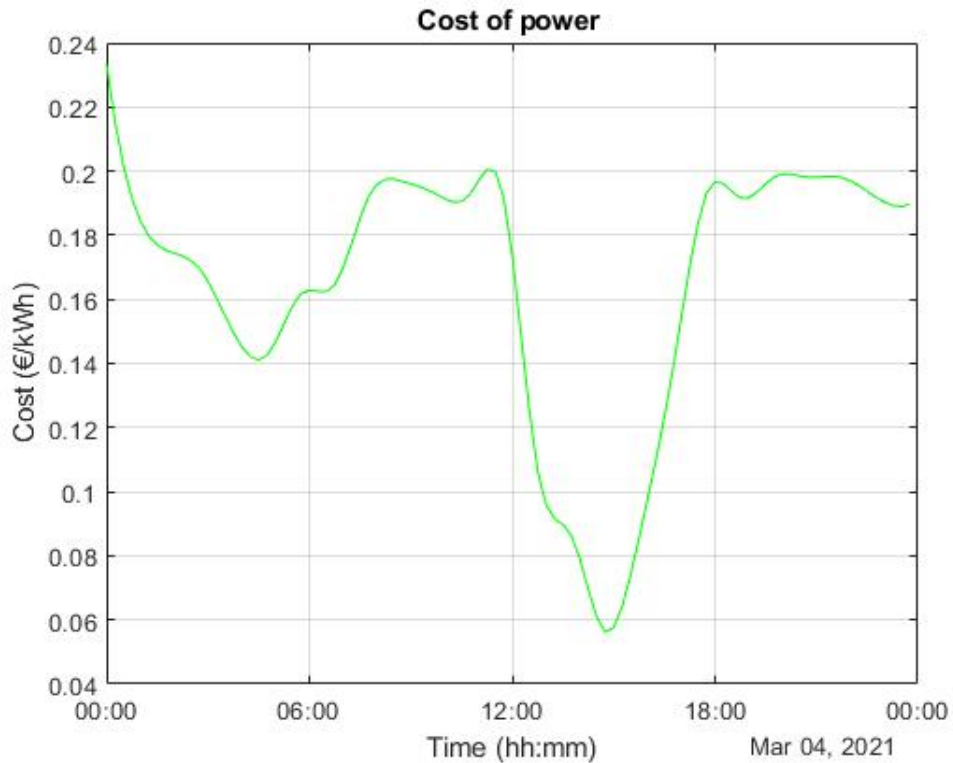
Τέλος στον παρακάτω πίνακα φαίνεται μία οικονομική μελέτη για την συγκεκριμένη ημέρα χωρίς την χρήση μπαταρίας αλλά και με αυτή.

Ημέρα	Συνολικό κόστος χωρίς την χρήση μπαταρίας	Χρήση μπαταρίας
Τρίτη	0.70 €	-1.1898 €

• ΤΕΤΑΡΤΗ

Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε τον συνολικό αριθμό των ατόμων που εισήλθαν στο κτίριο την Τετάρτη ,και την συνολική κατανάλωση ενέργειας χωρίς την χρήση της μπαταρίας. Στην συνέχεια, στο πρώτο γράφημα παρατηρούμε την τιμή της kWh μέσα στην ημέρα .

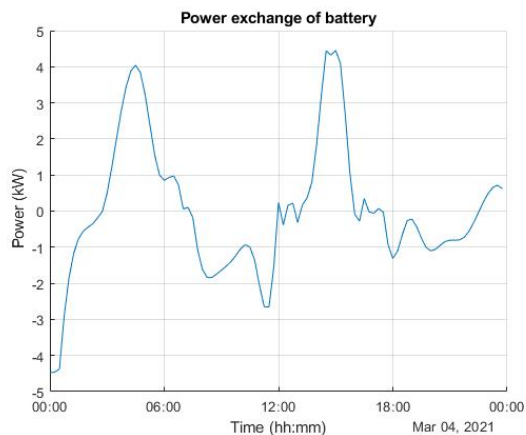
Συνολικά Άτομα	Ενέργεια που καταναλώθηκε
800	4.74 kWh



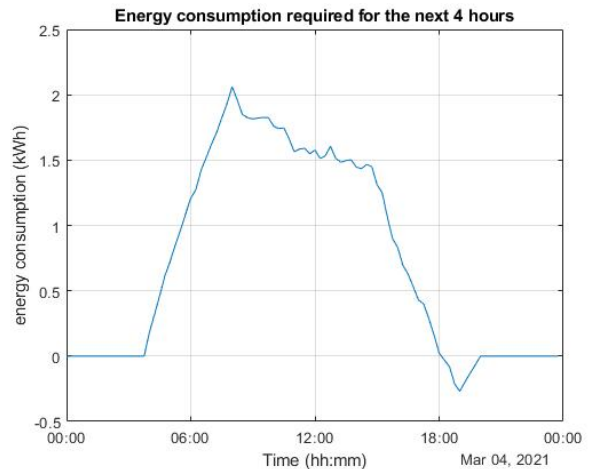
Έχοντας λάβει το παραπάνω μεταβλητό τιμολόγιο για την τιμή της kwh μέσα στην ημέρα προσθέτουμε στο μοντέλο του ανελκυστήρα μία μπαταρία με τα παρακάτω χαρακτηριστικά .Την τιμή της μέγιστης ροής ισχύος την λαμβάνουμε από την τιμή της μέγιστης ισχύς του κινητήρα που χρησιμοποιούμε.

Συνολική Χωρητικότητα μπαταρίας	Μέγιστη ροή ισχύος	Ελάχιστη ροή ισχύος
15 kWh	4.5 kW	-4.5 kW

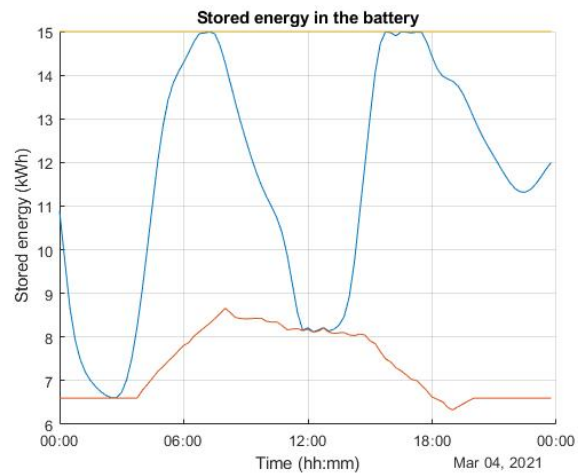
Στα 3 παρακάτω γραφήματα παρατηρούμε την ισχύς της μπαταρίας ,το φορτίο που έχει ο ανελκυστήρας την συγκεκριμένη ημέρα αλλά και το στάδιο φόρτισης της μπαταρίας κάθε χρονική στιγμή.



(a) Ισχύς που ανταλλάζει η μπαταρία με το δίκτυο



(b) Απαιτούμενη κατανάλωση ενέργειας για τις επόμενες 4 ώρες



(c) Βέλτιστη αποθηκευμένη ενέργεια στην μπαταρία
(Άνω -Κάτω όριο μπαταρίας)

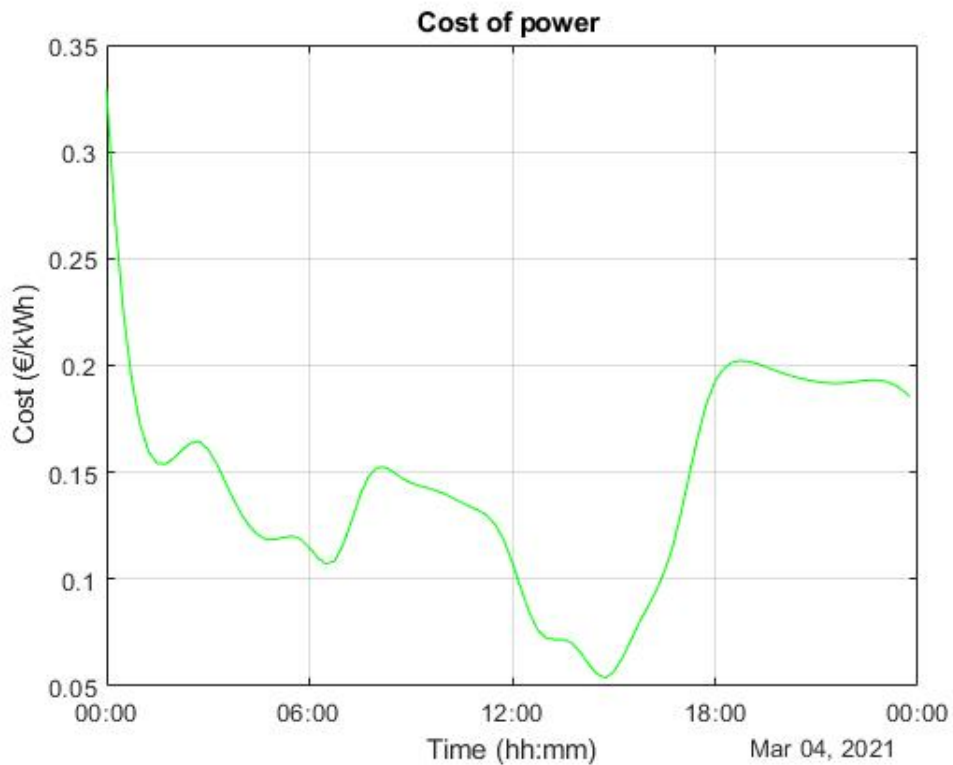
Τέλος στον παρακάτω πίνακα φαίνεται μία οικονομική μελέτη για την συγκεκριμένη ημέρα χωρίς την χρήση μπαταρίας αλλά και με αυτή.

Ημέρα	Συνολικό κόστος χωρίς την χρήση μπαταρίας	Χρήση μπαταρίας
Τετάρτη	0.73 €	-1.3258 €

• ΠΕΜΠΤΗ

Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε τον συνολικό αριθμό των ατόμων που εισήλθαν στο κτίριο την Πέμπτη ,και την συνολική κατανάλωση ενέργειας χωρίς την χρήση της μπαταρίας. Στην συνέχεια,στο πρώτο γράφημα παρατηρούμε την τιμή της kWh μέσα στην ημέρα .

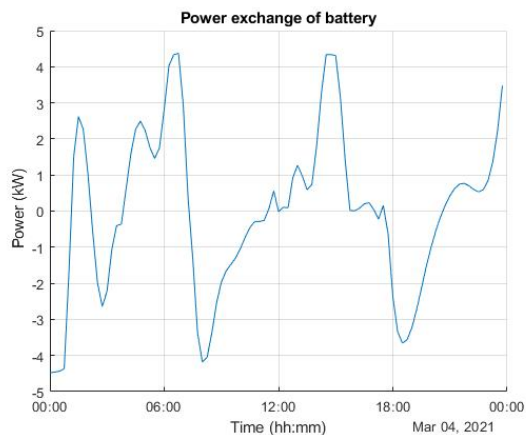
Συνολικά Άτομα	Ενέργεια που καταναλώθηκε
400	2.97 kWh



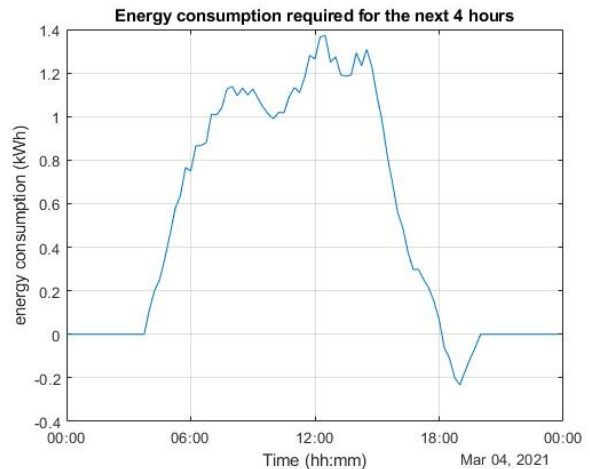
Έχοντας λάβει το παραπάνω μεταβλητό τιμολόγιο για την τιμή της kwh μέσα στην ημέρα προσθέτουμε στο μοντέλο του ανελκυστήρα μία μπαταρία με τα παρακάτω χαρακτηριστικά .Την τιμή της μέγιστης ροής ισχύος την λαμβάνουμε από την τιμή της μέγιστης ισχύς του κινητήρα που χρησιμοποιούμε.

Συνολική Χωρητικότητα μπαταρίας	Μέγιστη ροή ισχύος	Ελάχιστη ροή ισχύος
15 kWh	4.5 kW	-4.5 kW

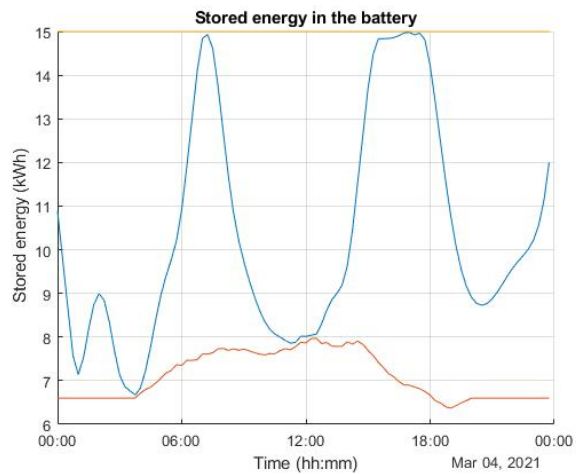
Στα 3 παρακάτω γραφήματα παρατηρούμε την ισχύς της μπαταρίας ,το φορτίο που έχει ο ανελκυστήρας την συγκεκριμένη ημέρα αλλά και το στάδιο φόρτισης της μπαταρίας κάθε χρονική στιγμή.



(a) Ισχύς που ανταλλάζει η μπαταρία με το δίκτυο



(b) Απαιτούμενη κατανάλωση ενέργειας για τις επόμενες 4 ώρες



(c) Βέλτιστη αποθηκευμένη ενέργεια στην μπαταρία
(Άνω -Κάτω όριο μπαταρίας)

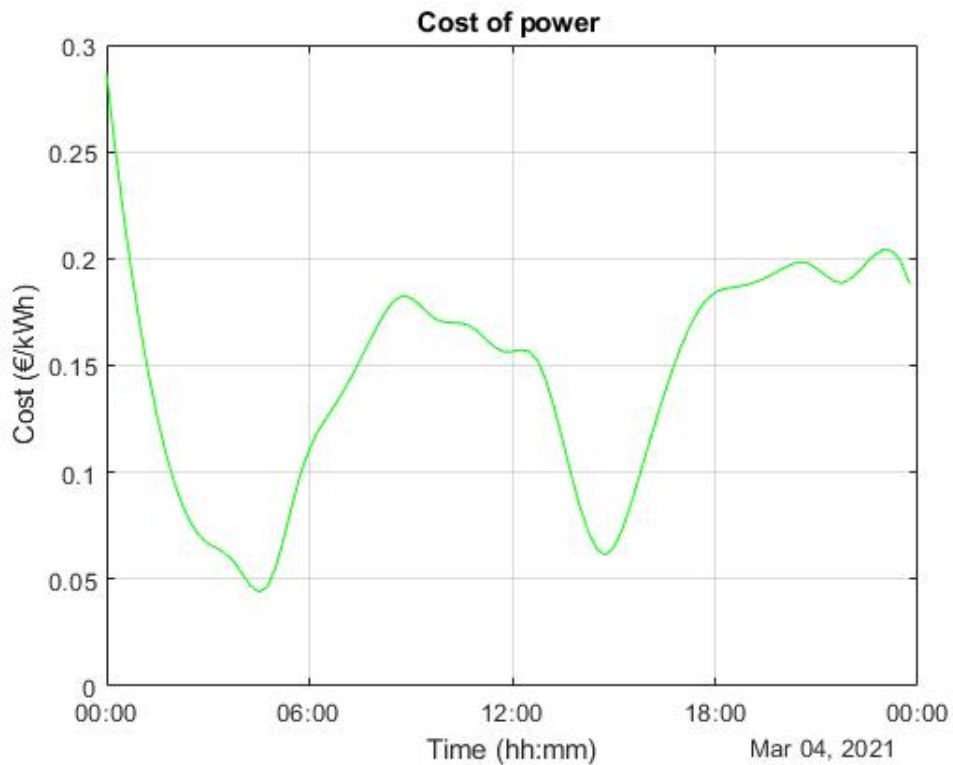
Τέλος στον παρακάτω πίνακα φαίνεται μία οικονομική μελέτη για την συγκεκριμένη ημέρα χωρίς την χρήση μπαταρίας αλλά και με αυτή.

Ημέρα	Συνολικό κόστος χωρίς την χρήση μπαταρίας	Χρήση μπαταρίας
Πέμπτη	0.45 €	-1.5416 €

• ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ

Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε τον συνολικό αριθμό των ατόμων που εισήλθαν στο κτίριο την Παρασκευή ,και την συνολική κατανάλωση ενέργειας χωρίς την χρήση της μπαταρίας. Στην συνέχεια,στο πρώτο γράφημα παρατηρούμε την τιμή της kWh μέσα στην ημέρα .

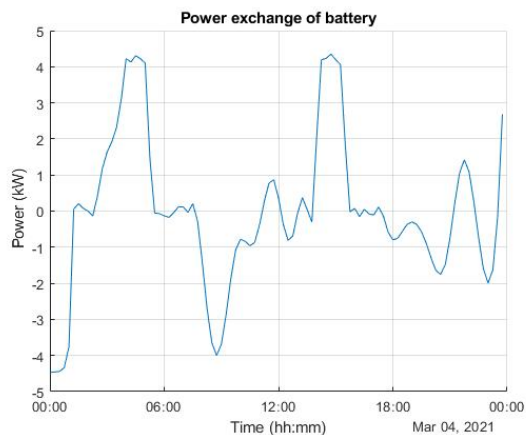
Συνολικά Άτομα	Ενέργεια που καταναλώθηκε
1000	5.14 kWh



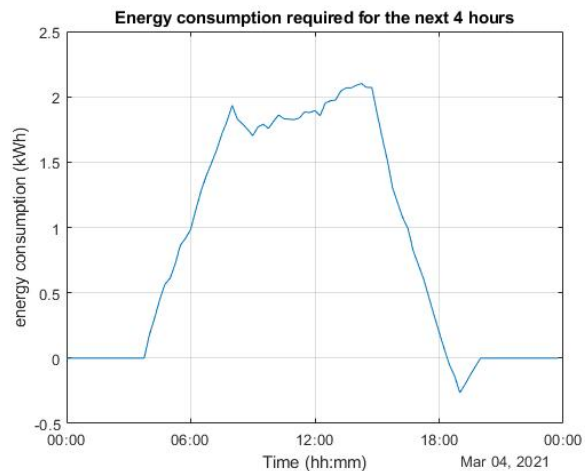
Έχοντας λάβει το παραπάνω μεταβλητό τιμολόγιο για την τιμή της kwh μέσα στην ημέρα προσθέτουμε στο μοντέλο του ανελκυστήρα μία μπαταρία με τα παρακάτω χαρακτηριστικά .Την τιμή της μέγιστης ροής ισχύος την λαμβάνουμε από την τιμή της μέγιστης ισχύς του κινητήρα που χρησιμοποιούμε.

Συνολική Χωρητικότητα μπαταρίας	Μέγιστη ροή ισχύος	Ελάχιστη ροή ισχύος
15 kWh	4.5 kW	-4.5 kW

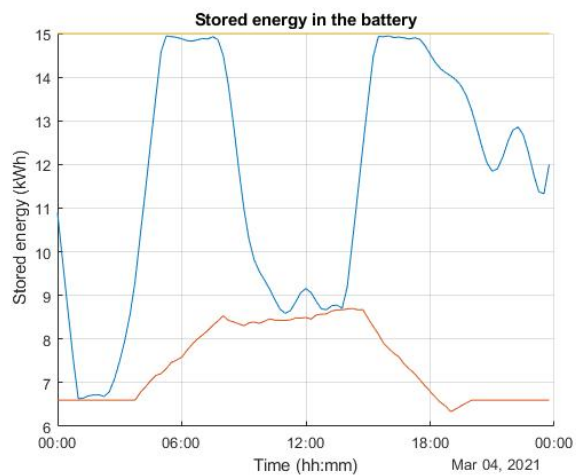
Στα 3 παρακάτω γραφήματα παρατηρούμε την ισχύς της μπαταρίας ,το φορτίο που έχει ο ανελκυστήρας την συγκεκριμένη ημέρα αλλά και το στάδιο φόρτισης της μπαταρίας κάθε χρονική στιγμή.



(a) Ισχύς που ανταλλάζει η μπαταρία με το δίκτυο



(b) Απαιτούμενη κατανάλωση ενέργειας για τις επόμενες 4 ώρες



(c) Βέλτιστη αποθηκευμένη ενέργεια στην μπαταρία
(Άνω -Κάτω όριο μπαταρίας)

Τέλος στον παρακάτω πίνακα φαίνεται μία οικονομική μελέτη για την συγκεκριμένη ημέρα χωρίς την χρήση μπαταρίας αλλά και με αυτή.

Ημέρα	Συνολικό κόστος χωρίς την χρήση μπαταρίας	Χρήση μπαταρίας
Παρασκευή	0.85 €	-2.0036 €

5.3 Συνολικά Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο έχουν τοποθετηθεί τα συνολικά αποτελέσματα από τη χρήση του αλγορίθμου για βελτιστοποίηση του κόστους του κτιρίου μαζί με την συνολική χρέωση του ανελκυστήρα πριν την τοποθέτηση μπαταρίας ώστε να γίνει η τελική σύγκριση για τα 2 είδη των ανελκυστήρων. Στον πρώτο πίνακα υπάρχουν τα αποτελέσματα παίρνουμε από έναν υδραυλικό ανελκυστήρα εγκατεστημένο στο κτίριο ενώ στον δεύτερο πίνακα στην περίπτωση ενός μηχανικού ανελκυστήρα.

Ημέρα	Συνολικό κόστος χωρίς την χρήση μπαταρίας	Χρήση μπαταρίας
Δευτέρα	0.56 €	-0.38835 €
Τρίτη	0.81 €	-1.3965 €
Τετάρτη	0.79 €	-1.3258 €
Πέμπτη	0.40 €	-1.8966 €
Παρασκευή	0.90 €	-2.2645 €

Ημέρα	Συνολικό κόστος χωρίς την χρήση μπαταρίας	Χρήση μπαταρίας
Δευτέρα	0.40 €	-0.34746 €
Τρίτη	0.70 €	-1.1898 €
Τετάρτη	0.73 €	-1.3773 €
Πέμπτη	0.45 €	-1.5416 €
Παρασκευή	0.85 €	-2.0036 €

6 Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, στην παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύχθηκαν δύο μοντέλα προσομοίωσης λειτουργίας ανελκυστήρα, ενός υδραυλικού ανελκυστήρα και ενός μηχανικού ανελκυστήρα για την οικονομική αξιολογήσή τους. Από την ανάπτυξη και προσομοίωση των μοντέλων, χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα ενέργειας που καταναλώνεται κατά τη χρήση τους και μετατράπηκε σε ετήσια κατανάλωση για το κτίριο γραφείων 6 ορόφων για σύγκριση των δύο μοντέλων.

Στη συνέχεια, σε προσπάθεια μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης καθώς και της ενεργειακής αυτονομίας, πραγματοποιήθηκε μελέτη εγκατάστασης μπαταρίας για την απόδοση της απαιτούμενης ενέργειας. Ο στόχος που είχε τεθεί, ήταν να λειτουργεί ο ανελκυστήρας μόνο από την μπαταρία για διάστημα 4 ωρών και ταυτοχρόνως η τροφοδότηση του φωτισμού του κτιρίου για μισή ώρα να προέρχεται από αυτή σε περίπτωση που γίνει διακοπή ρεύματος. Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε κατάλληλος αλγόριθμος βελτιστοποίησης και ελαχιστοποίησης του κόστους. Τέλος, το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι αν και τα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά, λόγω μεγάλης μείωσης του κόστους χρήσης και των δύο μοντέλων ανελκυστήρα, το αυξημένο σημερινό κόστος μίας τέτοιας χωρητικότητας μπαταρίας (14.000 €) καθιστά την εγκατάσταση της μη συμφέρουσα οικονομικά. Ωστόσο, τα επόμενα χρόνια η εγκατάσταση μίας τέτοιας μπαταρίας θα γίνει υποχρεωτική στα κτίρια διότι παρέχει τόσο ασφάλεια σε περιπτώσεις διακοπής ρεύματος όσο και ενεργειακή αυτονομία αλλά υπάρχει και αισθητή μείωση του συνολικού κόστους αφού με βάση τα ημερήσια αποτελέσματα της ενότητας 5.3 παρατηρούμε ότι η χρήση της μπαταρίας μπορεί να υπερκαλύψει τα ημερήσια έξοδα του ανελκυστήρα.

Εν κατακλείδι, μη συμπεριλαμβανομένων των αποτελεσμάτων της μπαταρίας, λόγω αυξημένου κόστους εγκατάστασης και λαμβάνοντας ως γνώμονα τα αποτελέσματα των ετήσιων αποτελεσμάτων κατανάλωσης των δύο μοντέλων ανελκυστήρα, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ο ενεργειακά αποδοτικότερος και οικονομικότερος είναι ο Ηλεκτροκίνητος Ανελκυστήρας.

Αναφορές

- [1] Wikipedia,Elevator :
<https://en.wikipedia.org/wiki/Elevator>
- [2] Abdulmalik, Ibrahim O, Akonyi, NasiruSule, Bolarinwa, Gabriel Oladeji, Chima, Lazarus Onyebuchi, Amony, Michael C, Mgbemena, Chinedum Ogonna ,The Design of A One-Man Passenger Electric Elevator, 2014 :
https://www.researchgate.net/publication/281288070_The_Design_of_A_One-Man_Passenger_Electric_Elevator
- [3] Tom Harris ,Hydraulic elevator :
<https://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/elevator1.htm>
- [4] Χρίστος Ξενοφώντος, Matlab guide,Τμήμα Μαθηματικών και Στατιστικής Πανεπιστήμιο Κύπρου:
http://www.mas.ucy.ac.cy/~xenophon/pubs/matlab_intro.pdf
- [5] K.F. Chan (Mr.), Introduction to lift traffic analysis,2010, university of honk kong
<https://www.eee.hku.hk/work6000/LDa>
- [6] International Organization for Standardization, Energy performance of lifts, escalators and moving walks – Part 2: Energy calculation and classification for lifts (elevators), ISO 25745-2; 2015.
<https://www.iso.org/standard/60951.html>
- [7] Anibal T. de Almeida, Carlos Patrão, João Fong, Rui Araújo, Urbano Nunes , “Energy Efficient Elevators Escalators” του ISR-UC ,2010 :
https://www.researchgate.net/publication/270590105_E4_-_Energy_Efficient_Elevators_and_Escalators_Technical_Report
- [8] Richard D. Peters, Ideal Lift Kinematics , Brunel University. :
<https://peters-research.com/index.php/papers/ideal-lift-kinematics/>
- [9] A. Bhatia, “Overview of Building Elevator Systems” ,2012 :
<https://pdhonline.com/courses/m376/m376content.pdf>
- [10] Doppler, Elevating your world:
<http://doppler.gr/el/>
- [11] Marc Sanchez , Building Energy Management Systems (BEMS) , 2020 :
<https://www.iotacommunications.com/blog/building-energy-management-system/>
- [12] Karen Kroll , How To Reduce Elevators’ Energy Use , 2014:
<https://www.facilitiesnet.com/elevators/article/How-To-Reduce-Elevators-Energy-Use--15510>
- [13] Bethel Afework, Gokul Dharan, Jordan Hanania, Braden Heffernan, James Jenden, Jason Donev , Standby power , 2018:
https://energyeducation.ca/encyclopedia/Standby_power
- [14] Dr. Richard Peters and Mrs Elizabeth Evans ,Measuring and Simulating Elevator Passengers in Buildings:
<https://peters-research.com/index.php/papers/measuringandsimulatingelevator/>